

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Implementación de un biodigestor aprovechando los desechos
orgánicos para generar biogás y/o abono orgánico

Trabajo de graduación en modalidad de Tesis presentado por
Marvin Rolando García Muj
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en Tecnología
Industrial

Guatemala,
2016

Implementación de un biodigestor aprovechando los desechos orgánicos para generar biogás y/o abono orgánico

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Implementación de un biodigestor aprovechando los desechos orgánicos para generar biogás y/o abono orgánico

Trabajo de graduación en modalidad de Tesis presentado por
Marvin Rolando García Muj
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en Tecnología
Industrial

Guatemala,
2016

Vo.Bo.

(f) 
Ing. Sergio Estuardo Barrera Urrutia

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. Sergio Estuardo Barrera Urrutia

(f) 
Ing. Jorge Méndez Costa

(f) 
Ing. Fernando Rafael Rivera Turcios

Fecha de aprobación: Guatemala 28 de enero del 2016

ACTO DE DEDICATORIA

- A Dios: Por haberme iluminado y darme lo más valioso que es la vida, gracias por todas las alegrías y tristeza, gracias por darme la dicha de haber concluido una etapa más de la carrera de muchas que se vendrán más adelante, permitirme disfrutar este momento, ya que sin tu ayuda fuera algo diferente.
- A mis Padres: Por ser la guía, los consejeros, gracias por el apoyo mutuo que me brindan y me brindaron en la misma, por ser un ejemplo, gracias a eso soy lo que soy, por lo que son un ejemplo en la cual seré igual o mejor que ustedes, esto trabajo es fruto de ustedes, mil gracias, gracias por existir.
- A mi Hermana: Gracias por todo, por ser parte de ello y apoyarme incondicionalmente, sabes que siempre estaré para apoyarte como lo hiciste conmigo, ya sea en momentos de alegrías como de tristezas.
- A mi Asesor: Gracias por brindarme su apoyo, en el momento que más lo necesitaba y brindarme sus conocimientos, para concluir este trabajo. No me queda más que agradecerle, gracias, esperamos que todo termine como se tiene planeado.
- A mis Maestros: Gracias a todos ellos, que me brindaron y formaron parte de los cinco años que duro la carrera, esto se logró gracias a ellos, para forman mejores ciudadanos, gracias por sus enseñanzas, sus buenos deseos.
- A mis Amigos: Por estar siempre ahí, gracias a cada uno de ellos, por mostrarme palabras de alientos, para que pueda seguir y culminar el trabajo.

PREFACIO

¿De qué forma se puede ayudar a mejorar el mundo? ¿Cómo hacerlo?, estas preguntas debemos contestarlas. Qué estamos haciendo para mejorarlo, cómo hacerlo, es por esa razón que este trabajo de graduación tiene la intención de poder aportar a nuestro planeta, mediante al implementar un biodigestor para lograr reducir el efecto invernadero. Y ¿cómo se logrará?, empleando materias primas que eran en el pasado inservibles y que en este proyecto son los elementos principales para ser transformados en biogás (gas metano), a la vez ser enviado nuevamente al suelo, plantas, flores, etc., como fertilizantes.

Es por esa sencilla razón que se realizó este proyecto, para poder analizar, y comprender, las condiciones adecuadas que se deben establecer para el uso correcto, y mantenimiento de la misma.

Este trabajo de graduación surge de la necesidad de poder aportar mi granito de arena con base en los conocimientos adquiridos durante los cinco años que dura la carrera de Ingeniería Industrial, para ponerlos en práctica, contribuyendo como profesionales que somos en mejorar las condiciones en las que actualmente se encuentra nuestro país, al mismo tiempo, el proyecto no solo me permitió adquirir experiencia, sino también, aplicarla para ayudar a la sociedad.

Pero este trabajo no lo hubiera completado solo, ya que con la ayuda de Dios, nada es imposible y esto es una muestra de ello, mis padres que fueron de una u otra forma pieza fundamental, dándome el apoyo que se requiere en estos casos, al igual que mi hermana, en apoyarme incondicionalmente. Doy gracias al *Ingenio Magdalena*, específicamente en el área de MAGALCOHOLES-MAGESA por abrirme las puertas para que se llevara a cabo el proyecto en ese lugar, como también agradezco al Gerente de Mantenimiento, el Ing. Domínguez, por aceptarme, permitiendo que el Ingeniero José Reinoso y la Ingeniera Marcela me brindaran su apoyo técnico, recursos, a la vez agradecer a la analista Guadalupe por explicarme, ensañarme, con base en sus conocimientos adquiridos en la realización de los análisis de las muestras. También deseo agradecer al Ingeniero Jorge Chacón, por apoyarme y brindarme herramientas necesarias para mejorar el trabajo, ya que estas ayudaron bastante. Cómo olvidarme de mi asesor, el Ingeniero Sergio Barrera, que fue o es la base principal, ya que como persona y como profesional lo admiro, gracias a todos ellos, que formaron parte de este trabajo de graduación sin ellos no hubiese concluido de una mejor manera, de forma profesional el trabajo.

ÍNDICE

ACTO DE DEDICATORIA	vi
PREFACIO	vii
LISTA DE TABLAS	xiii
LISTA DE GRÁFICAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
III. JUSTIFICACIÓN	4
IV. MARCO TEÓRICO.....	5
4.1. ANTECEDENTES DE IMSA.....	5
4.1.1. Historia de IMSA	5
4.2. PROCESOS DE IMSA	6
4.2.1. Fabricación de azúcar.....	6
4.2.2. Proceso de alcohol.....	8
4.2.3. Proceso de energía.....	9
4.3. BIOETANOL.....	9
4.3.1. Antecedentes de Guatemala de bioetanol.....	9
4.3.2. Fase industrial para la producción de bioetanol	10
4.4. VINAZA	11
4.4.1. Aprovechamiento de la vinaza	12
4.4.1.1. ¿Qué es vinaza?	12
4.4.2. Posibles usos de la vinaza	12
4.4.3. Efectos de la vinaza sobre la caña	13
4.4.4. Diagrama completo del proceso de biogás.....	13
4.5. BIOGÁS.....	14
4.5.1. ¿Qué es biogás?	14
4.5.2. Biodigestores.....	14
4.5.2.1. Principales operaciones del biodigestor	15
4.5.2.2. Tipos de biodigestores.....	15
4.5.2.3. Modelos de los biodigestores	16

4.5.3.	Carga del biodigestor	16
4.5.3.1.	Contenido total de sólidos	17
4.5.3.2.	Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	17
4.5.4.	Proceso de la digestión anaeróbica.....	17
4.5.4.1.	Filtros anaeróbicos	17
4.5.4.1.1.	Filtro de flujo ascendente	18
4.5.4.1.2.	Filtro de flujo descendente	18
4.5.4.1.3.	Filtro de alimentación múltiple	19
4.5.5.	Fases microbiológicas del proceso de biogás.....	19
4.5.5.1.	Fases de digestión	19
4.5.6.	Las variables que influyen en el proceso.....	20
4.5.7.	Factores que regulan el proceso de digestión	21
4.5.7.1.	Temperatura	21
4.5.7.2.	Tiempo de retención hidráulica.....	21
4.5.7.3.	PH	21
4.5.7.4.	Alcalinidad	21
4.5.7.5.	Ácidos volátiles.....	21
4.5.8.	Ventajas y desventajas del uso de biodigestores	22
4.5.8.1.	Ventajas.....	22
4.5.8.2.	Desventajas	22
V.	METODOLOGÍA	23
5.1	Localización y contextualización del ensayo	23
5.2	Construcción del biodigestor casero	23
5.2.1	Materiales.....	24
5.2.2	Procedimiento	24
5.2.2.2.	Recipiente del digestor anaeróbico	24
5.2.2.2.1.	Parte de alimentación del biodigestor.....	25
5.2.2.2.2.	Parte del efluente	25
5.3.	Diseño experimental	26
5.4.	Funcionamiento del biodigestor.....	26
5.4.1.	Carga orgánica volumétrica	26

5.4.2.	Materiales.....	27
5.5.	Mediciones de variable de estudio	29
5.5.1.	Efluente liquido.....	29
5.5.1.1.	Materiales.....	29
5.5.1.2.	Procedimiento	29
5.5.2.	Análisis	31
5.5.2.1.	Alcalinidad.....	31
5.5.2.1.1.	Alimentación o entrada y efluente o salida	31
5.5.2.2.	Acidez de alimentación y efluente	32
5.5.2.2.1.	Alimentación o entrada y efluente o salida	32
5.5.2.3.	DQO de alimentación y efluente.....	33
5.5.2.3.1.	Alimentación y efluente	33
5.5.2.4.	Sólidos totales suspendidos y sólidos volátiles	34
5.6.	Cálculos metodológicos de los análisis de las muestras	35
5.6.1.	Alcalinidad	35
5.6.2.	Acidez	35
5.6.3.	Sólidos totales y sólidos volátiles	36
5.6.4.	DQO.....	36
5.7.	Análisis económico	37
5.7.1.	Control del proceso	37
5.7.2.	Como medir el biogás del biodigestor.....	38
5.7.3.	Como medir el efluente para abono orgánico	38
XI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
XII.	CONCLUSIONES	49
XIII.	RECOMENDACIONES	51
XIV.	BIBLIOGRAFÍA	52
XV.	ANEXOS.....	54
XVI.	GLOSARIO	56

LISTA DE CUADRO

MARCO TEÓRICO

Cuadro 1. Ingenios de Guatemala	10
Cuadro 2. Empresas con destilerías en Guatemala.....	11
Cuadro 3. Composición del biogás 1	14
Cuadro 4 Composición del biogás 2.	14

METODOLOGÍA

Cuadro 1. Descripción de materiales para construcción de biodigestor casero	24
Cuadro 2. Descripción de materiales para el funcionamiento del biodigestor.	27
Cuadro 3. Descripción de materiales para realización de análisis en el laboratorio.	29
Cuadro 4. Datos de muestra de alcalinidad	35
Cuadro 5. .Datos de muestra de acidez.....	35
Cuadro 6. Datos de muestra de sólido.	36
Cuadro 7. Datos de muestra de DQO	36

LISTA DE FIGURAS

MARCO TEÓRICO

Figura 1,2,3. Diagrama completo del proceso de biogás..... 13

Figura 4. Filtros anaeróbicos..... 18

METODOLOGÍA

Figura 1. Biodigestor casero..... 23

Figura 2. Recipiente de almacenamiento del biogás. 24

Figura 3. Ensamblajes de agujeros 25

Figura 4. Recipiente de biodigestor terminado..... 25

Figura 5. Carga orgánica volumétrica del biodigestor 26

Figura 6. Materia prima (vinaza) 27

Figura 7. Cerdos toledo 28

Figura 8. Estiércol de coche (cerdos) 28

Figura 9. Mezcla de estiércol de cerdo y vinaza 28

Figura 10. Frascos... 30

Figura 11. Potenciómetro 30

Figura 12. Tubos de ensayos 30

Figura 13. Centrifugadora 30

Figura 14. Probeta de 100 ml. 31

Figura 15. Recipiente beakers de 250 ml. 31

Figura 16. Frasco de ácido sulfúrico 31

Figura 17. Recipiente de erlenmeyer..... 32

Figura 18. Aparato destilador analógico 32

Figura 19. Frasco de fenolftaleína 32

Figura 20. Recipiente de hidróxido de sodio..... 32

Figura 21. Balón de 100 ml 33

Figura 22. Cubetas de Spectroquant 33

Figura 23. Termoreactor..... 33

Figura 24. Spectroquant 60 33

Figura 25. Cajas de microfiltros 34

Figura 26. Balanza 34

Figura 27. Horno	34
Figura 28. Secadora	34
Figura 29 Secadora Fumace	35

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Datos de alcalinidad	39
Tabla 2. Datos de ph.....	40
Tabla 3. Datos de acidez.....	42
Tabla 4. Datos de sólidos totales y sólidos volátiles.	43
Tabla 5. Datos de sólidos totales	44
Tabla 6. Análisis de destrucción de dco	45
Tabla 7. Rangos establecidos de los análisis	46

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Análisis de alcalinidad 1.....	39
Gráfica 2. Análisis de alcalinidad 2.....	40
Gráfica 3. Análisis de ph 1.....	41
Gráfica 4. Análisis de ph 2.....	41
Gráfica 5. Análisis de acidez 1.....	42
Gráfica 6. Análisis de acidez 2.....	43
Gráfica 7. Análisis de sólidos volátiles.....	44
Gráfica 8. Análisis de sólidos totales.....	45
Gráfica 9. Análisis de producción de biogás.....	46
Gráfica 10. Rango de los análisis	47

RESUMEN

¿Cómo disminuir el calentamiento global? Actualmente existen varios métodos que son utilizados para contrarrestarlo; se logra apreciar las grandes consecuencias que están y seguirán afectando si no se hace algo al respecto. Uno de estos métodos convencionales que han surgido, que puede reducir o disminuir las consecuencias, es la biodigestión anaerobia, que es una alternativa muy importante para la degradación de la biomasa y su reutilización; se empleará la biomasa, donde antes no era útil, teniendo que degradarse provocando grandes consecuencias para la salud por las grandes sustancias que se generan. Es por esa razón que se llevó a cabo este trabajo de graduación, teniendo como tema principal, “Implementación de un biodigestor aprovechando los desechos orgánicos para genera biogás y/o abono orgánico”, a través del proceso de biodigestion anaeróbica, empleando materias primas, siendo la primera vinaza; la segunda vinaza y cerdaza; en la finalización del proyecto, se llegó a entender, como llevar a cabo éste proceso, estableciendo los cálculos de la carga de alimentación, gracias a eso, el pH de los dos procesos, se mantuvieron cercanos a neutro; a la vez se logra identificar los componentes del proceso de biodigestión anaeróbica que son la temperatura, pH, alcalinidad, dco, sólidos totales y sólidos volátiles, estos permitieron que el proceso se llevara a cabo de manera correcta; las bacterias son parte de este proceso específicamente, las bacterias metanogénesis, que viven en ausencia de oxígeno, por lo que se logró establecer las causas que provocan que no realicen bien su trabajo. Al controlar la carga de alimentación, el pH, se logra incrementar la producción de biogás haciéndola más eficiente, teniendo así el gas de mejor calidad, y el efluente ser utilizado como fertilizante orgánico. Se recomienda tomar en cuenta la materia a emplear, controlar la carga de alimentación. De los análisis realizados los más importantes son el pH y la acidez, son los que determinan si el efluente puede ser empleado como fertilizante, por esa razón es recomendable controlarlos. (Hilbert, Jorge Antonio. *Manual de biogas*. 2003., Merced, Diego De la. «Evaluación de los Parámetros de un Biodigestor Anaerobio tipo Continuo.» *En Evaluación de los Parámetros de un Biodigestor Anaerobio tipo Continuo*, de Diego De la Merced, 66. XALAPA, VER., 2012.)

I. INTRODUCCIÓN

Antes de poder conocer nuestro proyecto, veremos la causa o problema de motivación, para que éste se llevara a cabo. ¿Qué está pasando en la actualidad? En el pasado, como se observa actualmente se ha estado usando fuentes de energía tales como el petróleo, carbón, gas natural, fósil, etc., todos estos como materia prima importante para la realización de diversas actividades industriales llegando así a depender mucho de estas fuentes, que son contaminantes para nuestro planeta. Se ha comprobado que estos generan demasiado dióxido de carbono (CO²) que es expulsado a la atmósfera trayendo como consecuencia el cambio climático o efecto invernadero (EI), vemos películas que comentan sobre estas consecuencias, entre ellas están: *El día después de mañana* que aunque tenga mucha ficción de eventos catastróficos que difícilmente podrían pasar en los años 2,000, actualmente se puede observar que se asemeja mucho a la realidad, al igual, la gran demanda que se tiene de estas fuentes de energía se estima que cada vez será difícil de poder adquirirlas. Hace unos meses atrás se observaba una inestabilidad en el precio, llegando a beneficiar a la mayoría de la población en general, pero perjudicando a las empresas que usan o están usando estas energías para la producción. Por lo que se debía de cambiar este método, es por esa razón que a inicios del año 2,000 cada vez se hace notorio en países desarrollados los llamados combustibles verdes o energías renovables naturales, donde han estado tomando mayor fuerza, ahora los podemos observar, entre ellas la hidroeléctricas, cogeneración por medio de la caña de azúcar, bioetanol, biogás etc., (IDAE. «Situación y Potencial de Generación de Biogás.» En Situación y Potencial de Generación de Biogás, de IDAE, 104. 2011., Ramirez, Anne Germain y Humberto. Primera Aproximación y Amenaza de los Combustibles en CA. SAN SALVADOR, FEBRERO de 2010.)

Actualmente Guatemala cuenta con empresas que poseen diversidad de tecnología para la producción de energía usando fuentes naturales como geotérmicas, plantas hidroeléctricas, turbinas de gas y vapor, cogeneradoras, biogás por medio de la caña y palma africana. Un ejemplo claro sobre las ventajas que poseen estas tecnologías se observa, en una industria azucarera agroindustrial de caña de azúcar, es una empresa que se beneficia mucho usando fuentes de energías naturales, usando como materia prima la caña la cual se procesa para producir azúcar y en el proceso de producción de azúcar se genera un subproducto, el bagazo, éste se usa como combustible en las calderas, disminuyendo así el bunker; el vapor que sale se usa en cogeneración para producir electricidad; la melaza extraída va al área de destilería donde se procesa alcohol, en el proceso de alcohol se tiene un subproducto llamado vinaza, que se usa para el proceso de biogás, donde se genera gas metano y efluente. Con el metano se crea electricidad que se usa dentro de la empresa, mientras que el efluente se usa como abono orgánico que se usa en la caña de azúcar para su crecimiento a la vez para la siembra de árboles. El proceso de biogás se hace mediante el tratamiento de digestión anaeróbica, como se ve es un proceso completo que no se tiene desperdicios, como se explica de la empresa agroindustrial azucarera es un ejemplo del *Ingenio Magdalena*, donde realizan la biodigestión anaerobia empleando la vinaza, para la generación de biogás y fertilizante orgánico.

El tema del trabajo de graduación es, “Implementación de un biodigestor aprovechando los desechos orgánicos para genera biogás y/o abono orgánico”, y se pretendió llevar a cabo para la construcción de un biodigestor anaeróbico de tipo casero que cuente con una capacidad de 205 litros para el tratamiento de la biomasa. Este se hizo teniendo un filtro anaeróbico de forma ascendente, que quiere decir que la alimentación se encuentra en la parte de abajo y el efluente en la parte de arriba, esto se hizo con la intención de aprender a manipular o controlar el proceso, pero en la construcción de la misma, utilizando como materiales principales, un tonel mediano, uno pequeño, tubos de PVC, manguera, recipientes de plástico, etc. Se llevó a cabo en el *Ingenio Magdalena*, que cuenta con un proceso de biogás donde solo utilizan como materia prima vinaza, por lo que se enfocó en mejorar el proceso, mediante dos tratamientos de biodigestión anaerobia, siendo el primero, el tratamiento de vinaza; el segundo tratamiento de mezcla de vinaza y cerdaza, estando ambos aproximadamente con una retención de dos meses y dos semanas dentro del biodigestor (cada tratamiento). Durante ese tiempo, se realizaron cálculos para determinar la carga orgánica a utilizar, para después emplear la materia prima de forma periódica, donde se llevó a cabo el análisis de mediciones en el laboratorio de forma semanal tanto de la alimentación como de los efluentes, solo tomando en cuenta los análisis del efluente, para determinar si era viable utilizar el efluente como abono orgánico. Durante la finalización del proyecto, se llegó a la conclusión de que al calcular la carga orgánica se logró estimar la cantidad de litros de materia prima que se empleó para alimentar en nuestro biodigestor, ayudando a que el pH y la acidez se mantuvieran en los parámetros ideales o sea cercano a neutro, al realizar ambos procesos se logra observar que la materia prima que se desea emplear va a variar nuestros parámetros específicamente en la producción de biogás, por lo que en base a los análisis realizados, se determinó que el efluente que se tiene, puede ser empleado como abono orgánico, evitando dañar a los cultivos, en ambos casos. Por lo que se debe tomar en consideración qué materia prima utilizar. Utilizar una materia prima que sea la más fresca posible, al mismo tiempo lograr controlar los factores que afectan las bacterias metanogénesis, en caso de poder utilizar el efluente se recomienda realizar análisis de pH y acidez. Por lo que el proceso de biodigestion resultó ser un proceso adecuado para la degradación y reutilización de los residuos, se debe tomar en cuenta que los productos derivados finales del proceso dependerán de las condiciones que se realicen, como también del tipo de biodigestor construido.

II. OBJETIVOS

2.1 General

- Implementar un Biodigestor para desarrollar el proceso de biodigestión anaeróbica, para generación de biogás (gas metano) y fertilizante orgánico, utilizando material de desecho.

2.2 Específicos

- Diseñar un modelo de biodigestor, de acuerdo al volumen de desechos generados.
- Implementar dos procesos de biodigestión anaeróbica empleando como materias primas vinaza y luego la mezcla de vinaza y cerdaza.
- Establecer mediante cálculos matemáticos la carga orgánica a utilizar.
- Identificar los componentes principales del proceso de biodigestión anaeróbica.
- Conocer las causas que afecta el desarrollo de las bacterias metanogénica.
- Determinar mediante análisis en el laboratorio, si el efluente puede ser empleado como fertilizante orgánico.
- Incrementar la producción de gas metano, haciendo más eficiente el proceso, empleando la mezcla de vinaza y cerdaza.

III. JUSTIFICACIÓN

El tema del trabajo de graduación, “Implementación de un biodigestor aprovechando los desechos orgánicos para generar biogás y/o abono orgánico” tiene la intención de emplear materias primas orgánicas para ser degradadas por medio de la digestión anaeróbica, este proceso es muy importante, porque degrada en una buena parte la materia prima empleada, evitando así que esta sea degradada naturalmente como se ha estado haciendo en el pasado, muchas veces, se encuentran en la intemperie, por lo mismo, ya que antes eran inservibles, llegando a provocar tanta contaminación, la biodigestión anaeróbica, además de contribuir a mejorar las condiciones medio ambientales de nuestro país, estos proyectos son importantes darlos a conocer, porque son el futuro de las energías, de las conocidas energías verdes. En el trabajo de graduación se experimentó en la evaluación del funcionamiento de este proceso, a través de materias primas como vinaza y la mezcla de vinaza y cerdaza, donde son transformados a biogás que es una obtención de una fuente de energía. El residuo o efluente que sale del proceso, puede ser reutilizado como abono orgánico, haciendo este proceso muy útil e indispensable, la totalidad de las materias primas empleadas es utilizada de una o de otra forma, como se menciona anteriormente. Con este proyecto trato de contribuir a mejorar mi país.

IV. MARCO TEÓRICO

4.1. ANTECEDENTES DE IMSA

4.1.1 Historia de IMSA.

- 1983-1984. *Ingenio Magdalena* estaba ubicado en la *Finca Magdalena* en el rodeo-Escuintla, por lo que actualmente se encuentra en la *Finca Baganvilia*-Escuintla, en este periodo el ingenio se dedicaba a la producción de miel para la fabricación de licor, pero debido al cambio de gestión administrativa se vio en la necesidad de comprar tándem de molinos a Central Guánica de Puerto Rico logrando así sustituir a los molinos que contaba el ingenio inicialmente, que ayudo a alcanzar las 18,200 TM de azúcar.

- 1990-1991. Teniendo una plantación de 5,550 hectáreas logra una producción de 53,792 TM de azúcar. En los años siguientes se adquieren sistemas de corte, transporte, alojamientos de cortadores, para lograr completar de una vez por toda la instalación de molinos de 5 y 6 del tándem de Guánica, en donde se inicia con las realizaciones de las gestiones para una inversión para un programa de cogeneración.

- 1994-1996. Se alcanza una producción de 105,855 TM de azúcar superando lo que se propuso como meta en el periodo 1990-1991, esto se logra gracias a la innovación realizada, en fábrica se amplía con un nuevo tándem de molino adicional, contando con una capacidad de 9,200 TM, para superar las 16,000 TM de caña molida por día. En ese año se logra contar con un Laboratorio de Meristemas para la producción de semilla de caña y selección de variedades iniciando con una producción de 4,000 plantas.

- 2001- 2005. Con la instalación de una planta de alcohol en el año 2,001 inician los trabajos, contando con una capacidad de 120,000 litros diarios; al año siguiente se logra exportar.

- En el 2004 la generación de energía eléctrica se amplía con un turbo generador condensing de 16.5 MW que cuenta con una capacidad de 53.5 MW. A la vez en fábrica se logra ampliar nuevamente contando con un tándem adicional de molino con capacidad de 9,200 TM, teniendo, tres tándem de molinos se convierten en el primer ingenio de la región en contar con ello y se instala una planta adicional de cogeneración de 30MW.

- 2008-2010. 2008 realizan operaciones para una segunda planta de alcohol que cuenta con una capacidad instalada de 300,000 litros diarios, dando inicio en el 2010 con la construcción de una nueva planta de Generación Eléctrica utilizando combustibles renovables.

- 2012-2013. Nueva planta de generación de energía eléctrica de 60MW, que es la capacidad que cuenta el ingenio y debido al gran crecimiento de producción, se inicia la instalación de un domo de azúcar para almacenamiento, que es de 76 mil TM, por lo que en el 2013 inician con la instalación de una nueva caldera con un turbogenerador para que aumente la capacidad, llegando con la finalización de la construcción del domo de azúcar para iniciar con tres nuevos complejos habitacionales.

4.2. PROCESOS DE IMSA

4.2.1. FABRICACIÓN DE AZÚCAR

4.2.1.1. Etapa de inicio: Ingresar la caña de azúcar al ingenio específicamente en el área industrial y es transportada para determinar el peso en básculas y así verificar la calidad de la materia prima. Luego se lleva a la respectiva toma de la muestra, la muestra se traslada al laboratorio de control de calidad, lo hacen continuamente para saber en qué condiciones entra la caña de azúcar. La caña entra a la fábrica, se descarga sobre mesas de alimentación por medio de viradores que cuentan con capacidad de 50TM, para que la caña de azúcar llegue sin impurezas eliminan los sólidos de materia, como de tierra, sales, minerales, piedra, óxidos de las jaulas etc. Pasa a la aplicación de un lavado con agua entre 110° y 120°F siendo transportado hacia las troceadoras, picadoras oscilantes y desfibradoras, en la cual su función principal consiste en romper y desfibrar las celdas de los tallos de la caña, este proceso es llamado proceso de preparación.

4.2.1.2. Molienda: La caña de azúcar preparada llega al área de molinos donde se encuentran tres tandems de molinos, el tandem A con capacidad de 9,00TM, tandem B con 11,040 TM y por último el tandem C con 11,960 TM. Estos tandem cuentan con una serie de extracciones, para aumentar las extracciones aplican agua caliente con temperatura que oscila entre 155° y 179° F. Usando molinos de rodillo o mazas, todos los molinos tienen cuatro masas rayados en forma de V para obtener un proceso eficiente, por esa razón cuando se tiene menos jugos vuelven a aplicar nuevamente el proceso de maceración.

El jugo que sale de los molinos, se usa para los siguientes procesos que se mencionará más adelante, en cambio el bagazo, se toma como un subproducto industrial que es transportado hacia los sistemas de calderas para usarlo en biomasas como combustible, el sobrante, una parte es llevado a la hidrolización y el restante es para cubrir paros de emergencias.

4.2.1.3. Clarificación: En este proceso el jugo, se lleva a los calentadores que llegan a temperaturas de 140° y 155°F, para lograr tener azúcar blanco se debe pasar por una torre de sulfatación bajando el pH. El pH se baja empleando decolorante de azufre y para neutralizar el jugo se usa la bachada de cal entre 6 y 10 baumé, para luego ser llevado a tres etapas de calentamientos. Primero pasa por el

vapor vegetal que tiene 5.0 psi alcanzando temperaturas de 175°-185°F; la segunda por vapor de 5.0 psi con temperatura de 205° - 215°F; y, por último, con vapor de 10 psi, lo realiza de forma automática para rectificar el jugo.

Pasa a los clarificadores con una baja velocidad para permitir la concentración de lodo, para que se pueda extraer mediante gravedad en un clarificador SRI y bombas Door 444, se usa unos coladores vibratorios con malla 110 mesh para eliminar el bagacillo y evitar que se encuentre en el producto final.

4.2.1.4. Evaporación: Entra a los evaporadores tipo Robert. Estando dentro, la caña llega a unas cámaras para separar el vapor y el jugo; este jugo pasa de un evaporador a otro mediante bombas de transferencia.

4.2.1.5. Cristalización: En tachos al vacío se producirá la pureza de azúcar que queremos, si es azúcar crudo o azúcar blanco, el proceso es lento y se introduce al tacho granos microscópicos de azúcar comúnmente llamado semillas para lograr acelerarlo. El punto exacto de cocimiento decidirá si el producto es bueno.

4.2.1.6. Separación: Centrifugas que son equipos cilíndricos y giran a una gran velocidad, tienen como función principal la separación de los cristales de azúcar de la miel. La miel pasa por medio de telas, la miel vuelve a los tachos para ser usado como materia prima para la producción de alcohol en las destilerías; en cambio los cristales quedan atrapados dentro de las centrifugadoras para luego lavarlas con agua, el azúcar que se obtiene pasa al área de secado y enfriado.

4.2.1.7. Refinación: El azúcar blanco refinado es llevado a un proceso adicional como materia prima de azúcar blanco estándar o azúcar crudo, en el proceso de refinado se disuelve el azúcar aproximadamente a 60° Brix, por lo que se agrega carbón activado y tierra diatomácea, para ser pasado dos veces en filtración, los filtros tienen forma vertical para obtener licor claro, este licor es evaporado para empezar la cristalización de los granos.

4.2.1.8. Secado: Debido que en el proceso de centrifugado utilizan agua de condensado para lavar el azúcar, este tiende a humedecer aproximadamente 0.3% - 0.6%, pero como se quieren tener niveles de 0.2% de azúcar crudo y 0.03% de azúcar blanca para obtenerlo es llevado en el proceso de secado.

4.2.1.9. Envasado: Cuando sale el azúcar crudo del proceso de secado es llevado a las bodegas de almacenamiento para ser exportado directamente en camiones con carga a granel para transportarlo al puerto de embarque.

En cambio el azúcar blanco estándar y refinada es empacado en sacos entre 46kg, 50kg y los conocidos jumbos que pesan 1,400kg, para ser comercializado en el mercado local e internacional.

4.2.2. PROCESO DE ALCOHOL. Para la fabricación de producción de alcohol se cuenta con una producción diaria de 300,000 litros de alcohol etílico hidratado, en ello generan un subproducto, por lo que una parte es usada para exportación, en cambio la otra parte es usada para generación de energía, actualmente venden los gases que extraen de dióxido de carbono.

4.2.2.1 Fermentación: Del subproducto del proceso de fabricación de azúcar, se extrae la melaza que en este caso se usa como materia prima para la fabricación de alcohol, esta melaza se encuentra entre 80° - 88° Brix y 46° - 60° de azúcares totales.

Empezando con el crecimiento de las levaduras que debe contener 15 litros de mosto para ser almacenada en el laboratorio con temperaturas óptimas para que durante ese día pueda alcanzar los litros deseados, que son de 15 litros de levadura, cuando se logra la levadura es agregada al reactor, donde se cuenta con cuatro reactores, por lo tanto la levadura debe pasar en cada uno de los reactores, se hace para que aumente su volumen, donde tendrá que esperar hasta que las semillas alcancen el 80% de su capacidad, alcanzado esto, es mandado hacia los fermentadores donde se tienen cuatro, entrando a los fermentadores, ahí se debe de agregar una mezcla de agua y melaza a modo de poder alcanzar el 80% de llenado con un Brix de 15° para luego esperar de 32-36 horas para que pueda alcanzar su fermentación con un 8% de alcohol para ser llevado al área sedimentador de levadura por medio de bombes para recuperarla, pasa hacia los semilleros para ser procesadas en el siguiente fermentador, el mosto que está fermentado se logra recuperar con un sedimentador para ser transportado en los bombes hacia el almacenamiento del vino.

4.2.2.2 Destilación: El vino o llamado mosto fermentado es ingresado a la columna 1 de ahí se extraen los vapores de alcohol para ser enviado a la columna 2 o elaboradora de grado donde los vapores se logran condensar y son pasados a la columna 3 donde debe tener una temperatura de 15°- 20° C, pero antes se debe agregar agua, se realiza para lograr separar del alcohol los aceites que no se desean.

El alcohol sin aceite es bombeado hacia la columna cuatro donde se debe elevar el grado a 96°, 30°, 96° - 70° GL, contando con estas especificaciones es bombeado hacia la columna cinco para separar el metanol, se hace para poder obtener alcohol extra fino de 96°, 30°, 96° - 70° GL, usando un aparato llamado cromatografía de gases que obtiene las condiciones ideales de calidad, de ahí mismo también se separan los alcoholes no deseables llamados cabezas y colas debido a que estos contaminan tanto al alcohol extrafino como el alcohol sin desmetalizar.

4.2.2.3. Almacenaje: Se cuenta con seis tanques que tienen capacidad de 150,000 litros cada uno para almacenar la producción diaria, pero esto, depende mucho de la calidad que se obtiene para ser

bombeado hacia los tanques según la capacidad que se requiera. El alcohol es mandado hacia la terminal del puerto para ser trasladado en barcos para su exportación, se despacha mediante pipas.

4.2.2.4. Subproductos: Los residuos de los gases resultados del proceso de fermentación son vendidos a una empresa para que logren extraer el dióxido de carbono.

En la destilación se extrae lo que nos interesa para la producción de biogás, la vinaza, que es usado como fertilizantes en los campos de caña y el proceso de energía por medio de biogás en la cual se tiene instalado una planta para procesarla, para producir gas metano para luego ser quemado en las calderas, y con el vapor que se produce, generar energía eléctrica. Tienen pensado instalar una planta de deshidratadora para que produzca alcohol carburante o combustible arriba de 99° GL.

4.2.3. PROCESO DE ENERGÍA. Para la obtención de energía usan como materia prima la combustión de bagazo y la producción de vapor de agua, esta energía que se produce, una parte es para uso interno y la restante para la red eléctrica.

4.2.3.1. Transformación: En el área de calderas es recibido el bagazo que es usado como combustible para poder extraer vapor de agua que debe contener aproximadamente 50% de agua y 50% de fibra de caña. Este vapor seco con una alta presión es la que sirve para producir energía eléctrica en los turbogeneradores, pero no se usa toda que se produce ya que se tiene un residuo de las turbinas de 20 libras por pulgada cuadrada que es usado en fábrica específicamente en el proceso de fabricación de azúcar para calentar y concentrar jugos, mieles y masas.

En las calderas de tipo acuotubular que cuenta con 6, llega el vapor, este vapor es entregado a una serie de turbogeneradores que tiene la función de convertir la energía térmica a mecánica es de ahí se genera la energía eléctrica que es llevado a la empresa para consumo interno.

4.2.3.2. Distribución: Ya habiendo producido la energía eléctrica se distribuye de la siguiente manera, 12.5kv para consumo interno del ingenio y 69kv de voltaje comercial usado en el AMM, para hacer las interconexiones con el sistema nacional interconectado, donde se tienen dos líneas de transmisión una es llegada a nuestro municipio Santa Lucía Cotzumalguapa y la otra es la del Puerto San José.

4.3. BIOETANOL

4.3.1 Antecedentes en Guatemala de bioetanol. En Guatemala se contaba con un programa de bioetanol en el año de 1980 mediante la ley de Alcohol Carburante en el Decreto 17-85, dicha iniciativa se fue debilitando tanto por la falta de planificación debido a las operaciones y por la discontinuidad del precio del petróleo.

En América Latina y el Caribe, Guatemala actualmente se encuentra en el segundo lugar de mayor productor de azúcar y es nada menos el cuarto a nivel mundial, es por esa razón que aquí se tiene un gran potencial en producir etanol mediante la caña de azúcar. La caña de azúcar representa el 71% de producción a nivel nacional nada menos que la segunda mayor exportación solo superada por el café, solo por comentar algo en la zafra 2,005-2,006 las exportaciones fueron aproximadamente de 1,540.6 millones TM. Sin embargo en la zafra 2,006-2,007 los 14 ingenios azucareros de Guatemala produjeron 19.8 millones Tm de azúcar. (Ramirez 2010).

En esta gráfica se puede apreciar que en la Costa Sur del país de Guatemala, se encuentran dos grandes ingenios con el mayor porcentaje de molienda siendo ellos *Magdalena y Pantaleón*.

Cuadro 1. Ingenios de Guatemala

INGENIO	UBICACIÓN	CAPACIDAD (TC/día)
Magdalena	Escuintla	30,000
Pantaleón	Escuintla	24,000
El Pilar	Retalhuleu	18,000
Santa Ana	Escuintla	16,000
Palo Gordo	Suchitepéquez	10,000
Concepción	Escuintla	8,460
Madre Tierra	Escuintla	8,000
La Unión	Escuintla	8,000
Tululá	Suchitepéquez	6,000
San Diego	Escuintla	4,014
Trinidad	Escuintla	4,060
Los Tarros	Escuintla	3,000
Santa Teresa	Guatemala	500
La Sonrisa	Santa Rosa	500
TOTAL		140,534

Ramirez, Anne Germain y Humberto. *Primera Aproximacion y Amenaza de los Combustibles en CA. SAN SALVADOR, FEBRERO de 2010.*

4.3.2. Fase industrial para producción de bioetanol: En el año de 1985 el *Ingenio Palo Gordo* continuó su proceso de producción de etanol a pesar de las dificultades que se tuvo en el año de 1980 del programa de etanol aun así en los últimos años se ha visto un incremento de instalaciones de nuevas destilerías en la producción de bebidas alcohólicas y rones en cambio otras destilerías se dedican a la producción de etanol hidratado y anhidro.

- Bioetanol: *El Ingenio Pantaleón* a través de la destilería de bioetanol fue el mayor productor de azúcar de Centro América teniendo en 2,006-2,007 con 150,000 litros diarios y 2,007-2,008 produjo aproximadamente 25.5 millones de litros de etanol de tipo anhidro. En enero del 2,010 se esperaba una capacidad de producción de 450,000 litros por día. (Ing. Agro. Marco A. Chavez Solera 1985)

Cuadro 2. Empresas con destilería en Guatemala

Destilerías en operación en Guatemala			
Destilerías	Ingenio	Capacidad (lts)	Días de Operación
<i>Mag Alcoholes</i>	<i>Magdalena</i>	300,000	150
<i>Bioetanol</i>	<i>Pantaleón</i>	150,000	330
<i>Palo gordo</i>	<i>Palo Gordo</i>	120,000	150
<i>Servicios Manufactureros</i>	<i>Magdalena</i>	120,000	150
<i>Darsa</i>	<i>Tululá</i>	100,000	310

Ramírez, Anne Germain y Humberto. *Primera Aproximación y Amenaza de los Combustibles en CA. SAN SALVADOR, FEBRERO de 2010.*

- *Mag Alcoholes*: Forma parte del *Ingenio Magdalena* como también *Servicios Manufactureros*, pero con diferentes dueños, la destilería de *Mag Alcoholes* posee una capacidad de producción de 300,000 litros diarios de etanol tipo hidratado, por lo mismo que aquí en Guatemala no se encuentra un marco regulatorio de etanol, la empresa no cuenta con una deshidratadora.

- *Mag Alcoholes* en la zafra de 2,007-2,008 produjo 45.5 millones de litros de etanol hidratado en la cual la mayor parte fue etanol neutro para la elaboración de bebidas alcohólicas, sin embargo, el resto de la producción fue vendida a una deshidratadora de etanol de El Salvador a pesar de eso pretende la producción de un 93% de etanol neutro, igual con las empresas *Darsa*, *Palo Gordo* Y *Servicios Manufactureros* usan el etanol para ser usado en bebidas alcohólicas.

- Almacenamiento distribución y consumo: La empresa *Mag-Alcoholes* posee un almacenamiento de 14 millones de litros que es para el consumo en el *Ingenio IMSA* y 15 MM de litros para ser transportado mediante pipas de acero inoxidable, al Puerto Quetzal, el marco regulatorio actual sobre la Ley de Alcohol Carburante limita el uso de etanol de tipo carburante. En Guatemala los ingenios que cuenta con destilerías quieren llenar el mercado interno de combustible con etanol por lo que las destilerías que producen etanol carburante o etanol neutro las exportan a otros países. (Ing. Agro. Marco A. Chavez Solera 1985).

4.4. VINAZA.

Como se menciona anteriormente en Guatemala no se cuenta con una ley que se encargue de velar

por el manejo adecuado de los efluentes en los ingenios, entre ellos la vinaza, Por lo que los ingenios realizan varios tratamientos, entre ellos se cuenta: *Mag-Alcoholes*: En esa empresa realizan análisis semanales para verificar en qué condiciones se encuentra el suelo, la vinaza pasa en un proceso de enfriamiento adecuado para luego ser usado como un sistema de fertirriego en los suelos de las siembras, en el primer año fueron beneficiados 200 hectáreas mediante este proceso. *Servicios Manufactureros*: Este también se encuentra en el *Ingenio Magdalena*, para tratamiento de la vinaza, se posee una instalación de sistema de biogás para producir gas metano y así fabricar electricidad.

Destilerías de bioetanol: En los ingenios que producen vinaza, se usa para fertirriego para los campos de cultivo, mediante tuberías se transporta la vinaza, por lo que en los próximos años pretende disminuir la producción, eso con el afán de que, de un 1 litro de etanol genere 12 litros de vinaza a 1 litro de etanol solo genere 1 litro de vinaza a través de un proceso de concentración.

4.4.1. **APROVECHAMIENTO DE LA VINAZA:** Debido a los elevados costos de generación de energía utilizando combustibles convencionales entre ellos el bunker, leña, etc. ocasiona contaminación ambiental, por lo que nos lleva a la necesidad de desarrollar proyectos de energía renovables, a partir de la producción de alcohol, ya que este genera un residuo llamado vinaza.

4.4.1.1 **¿QUÉ ES VINAZA?** Hemos hablado de ella, pero no sabemos qué es, cómo se produce. La vinaza es el alcohol que se produce por medio de las levaduras sobre los sustratos azucarados, esto es fermentado, para luego tener una concentración de alcohol de aproximadamente de 10% - 12%, el vino que sale de este proceso se destila obteniendo el alcohol de 96°, el efluente o residuo que de este proceso es el que se llama vinaza.

La vinaza es agua residual de color marrón que contiene materia orgánica en óptimas condiciones para ser usado en la producción de Biogás, como la vinaza pura es un contaminante por su alto contenido orgánico, muchas veces es descargado en ríos por parte de los ingenios azucareros, pero debido a la poca información, no saben que puede ser usado para la producción de biogás mediante la vinaza, como fuente de energía.

4.4.2. POSIBLES USOS DE LAS VINAZAS

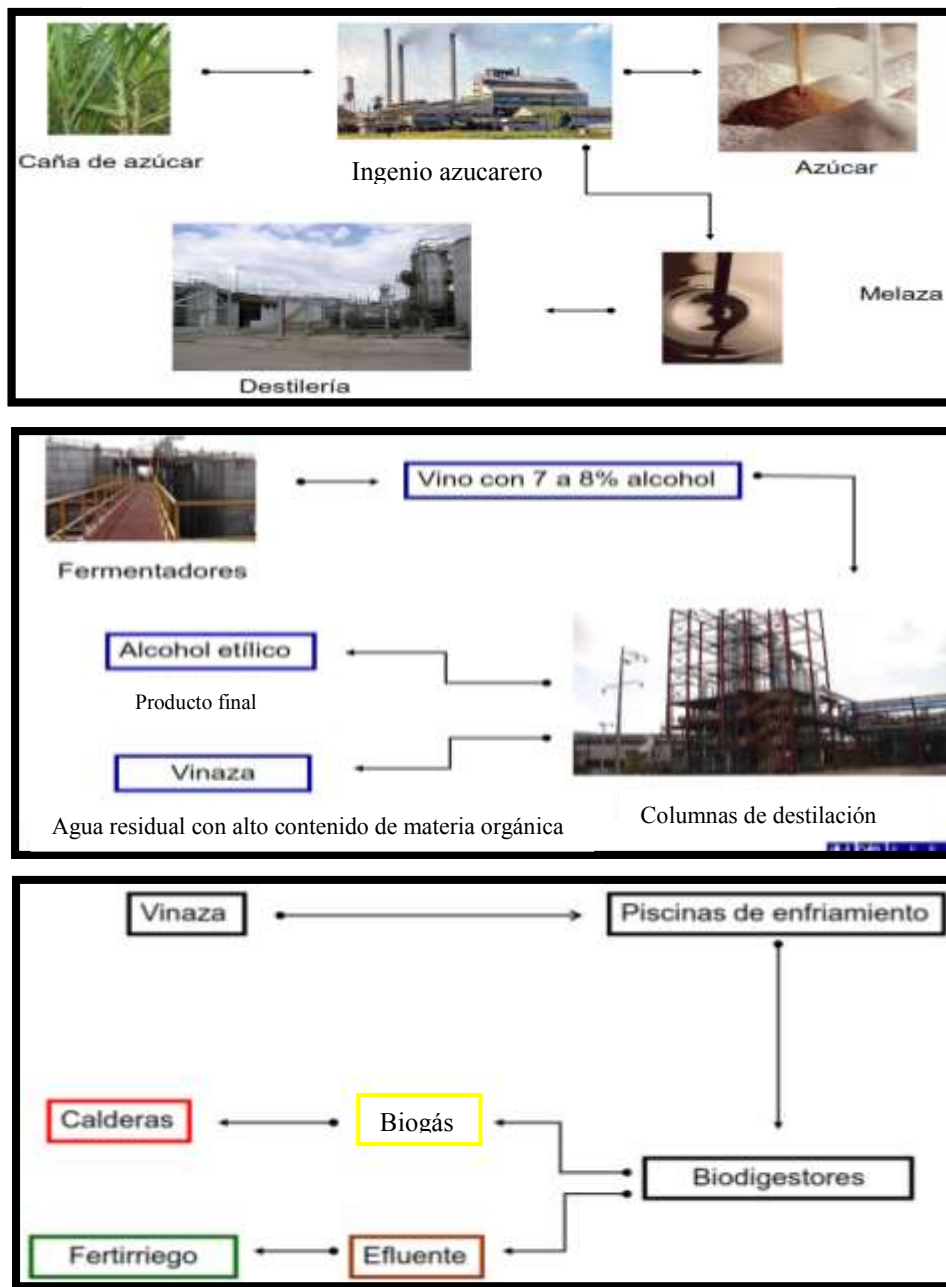
- Producción de proteína unicelular, a través de fermentación aeróbica.
- Producción de gas metano, a través de fermentación anaeróbica.
- Concentración con las siguientes posibilidades de uso.
- Componentes de raciones animales.
- Incinerado para producir fertilizante.
- Utilización agrícola del residuo "in natura", sustituyendo total o parcialmente las fertilizaciones minerales.

(Ing. Agro. Marco A. Chavez Solera 1985)

4.4.3. EFECTOS DE LAS VINAZAS SOBRE LA CAÑA. En estudios desarrollados en Brasil comparando la influencia sobre diferentes variedades en suelos irrigados y no irrigados con vinazas diluidas (proporción 1:10), constataron efectos benéficos con incrementos que varían del 6 al 102% en función de la variedad estudiada; otros resultados indican incrementos del 13% en relación al área no irrigada. (Ing. Agro. Marco A. Chavez Solera 1985)

4.4.4. DIAGRAMA DE BIOGAS A PARTIR DE VINAZA

Figura 1, 2,3. Diagrama completo del proceso de biogás



4.5. BIOGÁS

4.5.1. **¿QUÉ ES BIOGÁS?** Es un gas que se genera de forma natural por medio de la digestión anaeróbica (ausencia de oxígeno) mediante microorganismos de bacterias metanogénica, el biogás está compuesto de 55% de metano y 45% de dióxido de carbono con pequeñas cantidades de hidrógeno, nitrógeno, sulfuro de hidrógeno, poseyendo un calor calorífico que oscila entre 4,500 y 6,500 kcal / m³. (PEREZ 2006)

Cuadro 3. Composición del biogás 1.

COMPONENTE	PORCENTAJE
Metano	60-80
Gas Carbónico	30-40
Hidrógeno	5-10
Nitrógeno	1-2
Monóxido de Carbono	0-1.5
Oxígeno	0,1
Ácido Sulhídrico	0-1
Vapor de agua	0,3

(Hilbert 2003)

Cuadro 4. Composición del biogás 2.

COMPONENTE	CARACTERÍSTICA
Densidad	1,09 kg/ m ³
Solubilidad en agua	baja
Presión crítica	673.1 Psi
Temperatura crítica	82,5 °C
Poder calorífico	4,500 - 5,000 kcal/ m ³

(Hilbert 2003)

4.5.2. **DIGESTORES O BIODIGESTORES.** Los biodigestores es un recipiente o depósito cerrado, donde ingresan los residuos orgánicos que son mezclados con agua para ser digerida por varios microorganismos (Lagrange, 1979), que dependerá del tipo de material orgánico que se alimente, el biogás que se produce por el proceso de fermentación es almacenado en un recipiente que se encuentra en la parte superior del digestor o biodigestor, conocido también como domo o campana de gas aunque comúnmente son llamados gasómetros, estos gasómetros tienen la función principal de poder ejercer una presión sobre el gas para el consumo.

4.5.2.1. PRINCIPALES OPERACIONES DEL BIODIGESTOR

- Debe contar con medios tales como efectuar cargas y descargas del sistema.
- Es indispensable, que el biodigestor deba ser hermético, evitando la entrada de aire que pueda impedir con el proceso de digestión anaeróbica, a la vez contrarrestando las posibles fugas del biogás producido.
- Estar térmicamente aislado para evitar cambios bruscos de temperatura.

4.5.2.2. TIPOS DE BIODIGESTORES. En los biodigestores, hay de diferentes tipos que dependerá básicamente por su complejidad y el uso que se deba dar, pero lo que comúnmente son usados son los digestores discontinuos o también llamados cargas por lotes, que son los más sencillos, ahora con los complejos son aquellos que poseen dispositivos que ayudan para alimentarlos, donde se tiene una calefacción y agitación, a continuación se detallara cada uno de los tipos que se posee, entre ellos están:

- **Biodigestor continuo:** Como su nombre lo indica, es cuando no se interrumpe en ningún momento el proceso de alimentación, el efluente que descarga es igual al material de carga o a la alimentación, teniendo producciones de biogás de manera uniforme en tiempos determinados, las aguas negras son las que más se emplea estos tipos de biodigestores, ya que en este proceso se requiere que sea de forma continua, el biogás que se genera generalmente es usado en aplicaciones industriales.

- **Biodigestor semi-continuo:** Comúnmente es llamado así, porque la primera carga que entra posee una gran cantidad de materias primas, luego se agregan cargas de entradas específicamente de efluentes, que son calculadas por el tiempo de retención hidráulico a través del volumen total de digestor, habitualmente tiene la peculiaridad que la descarga del efluente suele ser la misma cantidad que del ingreso, haciendo de estos tipos, muy utilizados en las áreas rurales, básicamente en aplicaciones de medios domésticos, los más comunes de estos tipos son los hindú y chino.

- **Biodigestor discontinuo o régimen estacionario:** Estos también son conocidos como digestores Batch o Batelada, estos posee como principal característica que se cargan con las materias primas de una sola vez o una sola carga o lote, la alimentación se realiza una vez, se espera que cierto periodo de fermentación, cuando el contenido de materias primas disminuye o el rendimiento de biogás es muy bajo, cuando es así, entonces se procede a vaciarlo por completo, siendo lavado completamente, volviendo a alimentar de nuevo, realizando un nuevo proceso de fermentación.

4.5.2.3. MODELO DE LOS BIODIGESTORES

- **MODELO CHINO:** Como su nombre lo indica, este modelo de biodigestor es fabricado en china, el biodigestor es una cúpula fija que tiene forma cilíndrica que se encuentra enterrado con cámaras de hidropresión, la estructura puede estar hecha de ladrillo, bloques, adobes, etc., incluso se puede adherir un gasómetro de forma externa, para el almacenamiento de gas que se produce, por estar enterrado el digestor ayuda a mejorar el incremento de la fermentación, evitando la variación en cambios bruscos de temperatura, lo que si se ve como desventaja es que la presión del gas dependerá del volumen acumulado.

- **MODELO HINDÚ:** Al igual que el modelo chino, también como su nombre lo indica es fabricado o hecho en india, solo que la presión de trabajo que ejerce este modelo es de forma constante, por lo general este modelo tiende a ser de forma vertical, al igual que el modelo anterior, se puede adherir un gasómetro de acero, en comparación del modelo mencionando, este es construido de bloques o concretos, el modelo hindú cuenta con una alimentación continua, por lo cual se construye generalmente enterrados, quedando la cúpula sin gas a nivel del suelo.

- **MODELO HORIZONTAL:** Se caracterizan de los demás que estos modelos no van enterrados en profundidad, suelen ser de forma rectangular y cuadrados, debido a las presiones que son sometidos son fabricados de concreto, por lo que suelen ser usados generalmente en saneamiento de descarga cloacales, ya que por su forma alargada ayuda al efluente salir del digestor.

- **MODELO BATCH POR LOTES:** Estos se cargan de una sola vez, su cúpula es metálica con sello de agua, la estructura es hecha con bloques y concreto reforzado, el gasómetro de este modelo es de forma obligatoria y con la condición que no debe ser puesto al aire, ya que podría afectar la temperatura ambiental, comúnmente es usado para degradar materias primas sólidas, como por ejemplo restos de vegetales, desechos orgánicos, entre otros, el rendimiento del volumen de gas es mejor que un digestor continuo.

4.5.3. CARGA DEL BIODIGESTOR. Es el volumen de la alimentación en base a la materia prima que se adhiere al biodigestor, donde es procesado mediante el tratamiento anaeróbico y dependerá de la frecuencia que se realice, la carga por lo general dependerá del tipo de biodigestor que se tiene y la capacidad que esta posee, cuando se tiene cargas mayores se necesitara un control, entre ellos la temperatura, por lo tanto la carga será de forma continua o diaria, ya que si no se carga el biodigestor por una semana o semanas puede tener pérdidas hasta llegar a afectar la producción del biogás, aun así cuando se carga en intervalos irregulares puede ocurrir que disminuye su proceso o incluso lograr a pararlo

completamente, en cambio al trabajar con cargas continuas y descargas del sistema, las bacterias trabajan eficientemente, hasta obtener buenos nutrientes, llegando a tener un gran potencial de gas, al mismo tiempo procreando grandes cantidades de residuos.

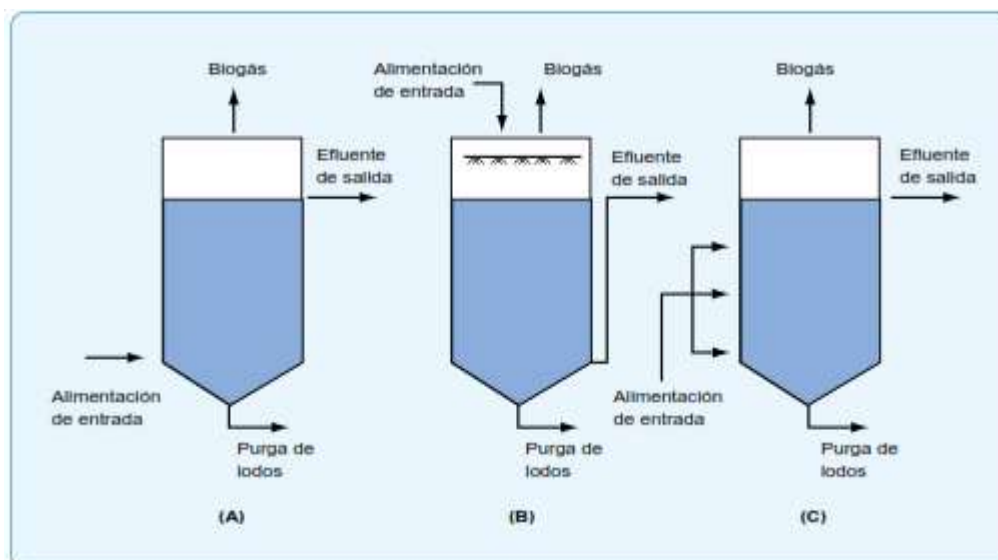
4.5.3.1. **CONTENIDO TOTAL DE SÓLIDOS:** Usualmente es expresado en porcentaje, aunque muchas empresas no, los sólidos totales nos muestra la fracción del peso de los sólidos orgánicos en la mezcla acuosa, deberá ser evaluado mediante análisis de muestra de alimentación y efluente, un buen tratamiento requiere que la entrada sea mayor que la salida, esto tiende a indicar que dentro del biodigestor se está formando lodo, por lo que contribuye a mejorar el proceso eficientemente.

4.5.3.2. **DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO):** Es la media de oxígeno que las bacterias requieren para la oxidación de la materia orgánica y de ella dependerá de la evolución de producción de biogás, al ser evaluado se lleva a cabo mediante análisis tanto de alimentación y efluente, por lo general la alimentación tiende a ser más alta que la salida, al ser lo contrario, dentro del biodigestor se obtendría oxígeno, por lo que automáticamente mataría las bacterias que viven y se reproducen sin ello, la degradación dco se puede calcular a base de cálculos, con ello también se puede medir la eficiencia de producción de biogás. Por cada tonelada de DQO en un digestor se estima que se obtiene entre 340 y 450 metros cúbicos de biogás.

4.5.4. **PROCESO DE LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA.** La digestión anaeróbica es la oxidación de la materia orgánica y la transformación de ésta, en gas metano a través de microorganismos encargados de descomponerla, el proceso se realiza en ausencia de oxígeno (bacterias anaeróbicas). El gas resultante es el llamado biogás, el proceso de la digestión anaeróbica es mediante un digestor o biodigestor sellado, que puede ser un recipiente cerrado (tonel), que sea ideal para crear las condiciones para que las bacterias metanogénica realicen la fermentación adecuada de la materia estando libre de oxígeno, según estudios realizados, estiman que un rango aproximado del 30 a 60% de la materia prima es convertida en biogás en un tiempo específico.

4.5.4.1. **FILTROS ANAERÓBICOS.** El proceso de biodigestion anaeróbica, se cuenta con varios tipos de filtros anaeróbicos, que va a depender del tipo de alimentación que se quiera implementar, como del tipo de construcción que se tenga, por lo general estos filtros se clasifican en tres tipos, los filtros llamados ascendentes (A), filtros descendentes (B), y filtros de múltiples (C), para tener una idea más clara, de la forma que estos operaran, se muestra en la figura de abajo.

Figura 4. Filtros anaeróbicos



4.5.4.1.1. FILTRO ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE (FAA): Por lo general estos tipos de reactores tiene forma tubular, se caracteriza por su operación continua, el flujo ascendente que quiere decir, que la alimentación de la materia prima entra por la parte de abajo del reactor y el efluente sale en la parte de arriba de dicho reactor, estos tipos de filtros utiliza como relleno, lecho de piedras o plástico, aunque es muy bajo volumen de poros habría problemas de que sea obstruido, es por esa razón que el que más se usa es el plástico sintético o cerámicas donde el volumen de plástico se encuentra entre 80% y 95 %, favoreciendo el crecimiento de la biopelícula, otra característica peculiar es que los microorganismo se agrupan en gránulos, haciendo que sea buena la sedimentación permitiendo la retención de lodo activo, la ventaja de estos reactores es que se puede ejercer cargas orgánicas mayores, aparte de ello produce una gran cantidad de biogás en un menor volumen reacción y espacio, este reactor tolera la presencia de tóxicos por la elevada concentración de biomasa.

4.5.4.1.2. FILTRO ANAERÓBICO DE FLUJO DESCENDENTE (FAD): Este proceso es muy similar al anterior, pero se diferencia en que la biomasa es adherida al medio, con respecto a la alimentación se realiza de la parte de arriba del reactor donde ingresa la materia prima, el efluente de la parte de abajo, cuando se opera este tipo de reactores la biomasa que estaba adherida es arrastrada, esto, debido a las fuerzas de fricción del líquido, este método lo realiza para evitar problemas de obstrucción de canales, obteniendo así la concentración de fases tanto líquida como gaseosa, esta fases gas-líquido aumentan la mezcla y la homogenización del sistema, para impedir altas concentraciones de ácidos grasos volátiles. Estos reactores son capaces de poder tratar compuestos solubles e insolubles.

4.5.4.1.3. FILTRO ANAERÓBICO DE ALIMENTACIÓN MÚLTIPLE (FAD):

Como su nombre lo indica, la alimentación entra en diferentes puntos de reactor específicamente de la parte de media para abajo, el efluente sale en la parte de arriba, las ventajas de este tipo de reactores, son que permite una homogenización de la biomasa más distribuida, realizando un proceso más estable, más equilibrado, haciendo una mezcla muy completa, previniendo que no provoque obstrucciones, al igual, no permitiendo que acumulen los ácidos grasos volátiles y por último se tiene una efectividad del lecho del filtro con un volumen de trabajo aproximadamente de 87%, si lo comparamos con uno de alimentación simple.

4.5.5. FASES MICROBIOLÓGICAS DEL PROCESO DE BIOGÁS.

Estos microorganismos operan sin oxígeno, por lo que si se encuentran oxígeno dentro del biodigestor, tiende a eliminar por completo las fases evitando así la producción de biogás, las bacterias deberán de trabajar en condiciones óptimas, que son calculados mediante análisis, específicamente del análisis de dco.

- **Hidrólisis:** Son microorganismos que se encargan de excretar las enzimas que rompen la materia orgánica entre ellas la glucosa, glicerol, purinas y piridinas.
- **Acidogénesis:** Son bacterias que realizan el proceso de la fermentación para procesar los productos de residuos, mediante la hidrolisis de acetato, dióxido de carbono y grasos ácidos volátiles.
- **Acetogénesis:** Es un proceso que se conecta con la metanogénesis, como su nombre lo indica, es quien forma el ácido acético, la materia prima que se emplea se convierte en biogás por medio de estas bacterias, los ácidos grasos junto con los alcoholes son oxidados en acetatos, hidrogeno y dióxido de carbono.
- **Metanogénesis:** Es la etapa final del proceso de generar gas metano, el ácido acético como el hidrogeno y el dióxido de carbonó se convierte en metano a través de microorganismos unicelulares, que son lo que se encargan que realizar esta tarea, el proceso es lento por lo cual se debe de contar con las condiciones de operación como la tasa de alimentación, temperatura y pH.

4.5.5.1. Fases de digestión

- **Pretratamiento:** En esta fase es la encargada de incrementar la producción, haciendo mejor la calidad del biogás, con la aceleración del proceso de hidrólisis de las materias orgánicas se debe contar con buenas condiciones para el desarrollo microbiano, esto ayuda también a reducir el tiempo de almacenamiento dentro de un digestor.
- **Co-digestión anaerobia:** Los sustratos se mezclan químicamente entre dos o más a través de la fermentación anaerobia, llevando a equilibrar el proceso de producción de biogás.

- **Depuración y aprovechamiento:** El biogás se debe almacenar con un aparato llamado gasómetro, para luego ser usado en calderas, motores de cogeneración, etc.
- **Digestatos y su aprovechamiento:** En este proceso se encarga de poder reducir los malos olores, que son omitidos casi en su totalidad, este olor es desagradable para el ser humano, el digestato, es un material de composición homogénea que realiza esta labor, conteniendo todos los nutrientes que se empezó con el proceso de biogás, para luego el efluente ser utilizado como abono orgánico.

4.5.6. LAS VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO

- **NUTRIENTES:** Los nutrientes comunes son el carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y algunas sales minerales que permite un crecimiento en las actividades de las bacterias.
- **TÓXICOS:** Dentro del proceso de biodigestión que inhiben la digestión con concentraciones elevadas de amoníaco, sales minerales y algunas sustancias orgánicas como detergentes y pesticidas.
- **SUBPRODUCTOS:** La producción de biogás en el digestor anaerobio son: amonio, fósforo, potasio y nitrógeno este último puede utilizarse como fertilizante en los cultivos agrícolas.
- **EFLUENTE:** Es un subproducto o residuo que resulta del proceso de la digestión anaerobia, en la cual es una solución orgánica puede ser utilizada como fertilizante, riego y piscicultura.

4.5.6.1. MATERIAS PRIMAS

- **MATERIA PRIMA:** Es la totalidad de residuos orgánicos que pueden recolectarse y que pueden ser utilizados para cargar o alimentar el biodigestor, se puede emplear el material como de uso renovable como las biomasa.
- **ESTIERCOL:** Son heces fecales de animales como, vacas, cerdos, gallinas, el estiércol cuenta con un contenido solido de 8% a 25%, dependerá del tipo de animal que se toma, por lo cual es indispensable que pueda ser mezclado con agua para poder alimentar al digestor.
- **POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS:** Es el volumen de gas que se obtiene de la materia prima empleada, dependerá de ciertos factores, como por ejemplo la materia prima, entre más fresco sea la materia empleada, mejor calidad de gas generara, por lo que es aconsejable que tenga una alimentación periódica.
- **CALIDAD DE RESIDUOS:** De la calidad de la materia prima, se observará en la producción de biogás que tan eficiente se está volviendo, como se menciona entre más fresca es la materia prima mayor será su rendimiento de gas y tendrá un menor riesgo de poseer mayor acidez. *(Hossain & Islam, 2008)*

4.5.7. FACTORES QUE REGULAN EL PROCESO DE DIGESTIÓN. Las bacterias se caracterizan, por un crecimiento lento, que va a depender de una serie de parámetros, que es preciso controlar, verificar, mediante análisis en el laboratorio, los cuales son los siguientes:

4.5.7.1. TEMPERATURA: La temperatura es una de los principales factores en tomar en cuenta, porque pueden afectar el crecimiento de las bacterias o microorganismos, cuando la temperatura vaya aumentando también la producción aumentará y todo lo contrario si se tiene una temperatura decreciente, para que esto no ocurra, muchos han utilizado un sistema de calor como suplemento para que mejore el rendimiento. Las bacterias o microorganismo se tiene de tres clases que son los psicófilos, mesófilos y termófilo, en los psicófilos se caracterizan por tener temperatura óptima de crecimientos inferiores a 30 ° C, en los mesófilos tiene una temperatura de crecimiento entre el 30° C y 45° C, y por último los termófilos tienen una temperatura óptima superior a los 45° C, por lo que se recomienda que la temperatura se mantenga estable, para evitar que la temperatura sea afectada por la temperatura ambiente.

4.5.7.2. TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (TRH): Es la condición que debe de mantener el efluente orgánico dentro del biodigestor para alcanzar los niveles de energía y/o reducción de carga por un tiempo determinado, el TRH depende mucho de la temperatura ambiente, como también de la carga del digestor.

4.5.7.3. PH: Es la condición que posee la digestión anaerobia por lo general se encuentra en un rango de variación entre 6-8 de pH, alcanzado un óptimo desempeño en 7 a 7,2. Para medir el pH se usa un aparato llamado potenciómetro, donde muestra lectura de temperatura y compensación de la misma o sea el pH, el pH cuenta con concentraciones de iones de hidrógeno que es la determinación de acidez de una sustancia.

El pH que posee la materia prima va a indicar si el proceso de digestión se está realizando de una buena manera, pero también se toma en consideración el pH, porque los microorganismos son muy sensibles a cambios del pH, por lo tanto es recomendable que el pH se mantenga cercano a neutro.

4.5.7.4. ALCALINIDAD: Es la presencia de compuestos como bicarbonato, carbono, amoníaco, ácidos orgánicos, etc., especialmente los substratos de la industria agroalimentaria y sobre todo los estiércoles y purines, donde se determina que alcalino es la sustancia, está dado en ml, por lo que hay empresas que realizan la conversión de ml a ppm.

4.5.7.5. ÁCIDOS VOLÁTILES: Cuando se tiene un mal funcionamiento de los digestores, aumenta la concentración de los ácidos volátiles en el efluente, la inestabilidad del proceso, un gran aumento de los ácidos hará reducirse el pH que inhibirá progresivamente a las bacterias metanogénicas que llevaría incluso a bloquear completamente el proceso anaeróbico, por lo que crea lodo dentro del biodigestor, prácticamente el efluente sale bajo de ácidos volátiles, dejando así que dicho biodigestor realice su trabajo.

4.5.8. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE BIODIGESTORES

4.5.8.1. VENTAJAS: Las ventajas que tienen la implementación de un biodigestor, es que tiene la capacidad de poder reducir la contaminación ambiental mediante la transformación de residuos orgánicos a energía, la materia prima que se emplea, es orgánica, por lo tanto estos tipos de proyectos ayudan a cubrir las necesidades energéticas que tanta falta hace en nuestro país, obteniendo más producción de energías renovables aún bajo costo, además el residuo que se tiene del proceso, se puede utilizar en las plantas como abono orgánico, por la cantidad de nutrientes que posee aumenta el desarrollo del crecimiento de las plantas.

4.5.8.2. DESVENTAJAS: Es que se debe de contar con un suelo húmedo para que el efluente se adapte de buena manera para que ser absorbido en su totalidad, si el suelo está seco habría pérdida de nitrógeno por volatilización, otra es la pérdida de lixiviación de algunos componentes especialmente de forma líquida que causa problemas de contaminación al no ser empleados de buena manera.

V. METODOLOGÍA

5.1. LOCALIZACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN DEL ENSAYO.

El ensayo se elaboró en el *Ingenio Magdalena*, específicamente en Magalcoholes-Magesa, el trabajo de estudio consistió en la elaboración de un biodigestor de tipo casero para el tratamiento anaeróbico de materias primas, además la realización de análisis de las muestras con la intención de tener un mejor manejo de la producción de biogás. Las fotos que se mostrarán más adelante, todas son tomadas por el autor a excepción de una.

5.2. CONSTRUCCIÓN DE BIODIGESTOR CASERO

Se construyó un biodigestor de tipo casero con filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAA), que quiere decir que la alimentación de materia prima entra por la parte de abajo del reactor y el efluente sale en la parte dicho reactor, arriba, el proceso de biodigestor que se realizó es de forma continua, que no se debe interrumpir el proceso de alimentación, si no se realiza de forma continua, podría generar problemas para la producción de biogás hasta parar el proceso, la figura de abajo nos muestra la construcción terminada del biodigestor anaeróbico.

Figura 1. Biodigestor casero



5.2.1. MATERIALES:

Cuadro 1. Descripción de materiales para construcción de biodigestor casero

Cantidad de material	Descripción
1	Tonel mediano con capacidad aproximadamente de 205 litros.
1	Tonel pequeño
1	Manguera de ½” de aproximadamente de 30 cm de longitud
2	Codos
2	Acoples grandes para tubos de PVC de aguas pluviales
1	Acople pequeño de ½”
2	Abrazaderas
2	Tubos de PVC de aguas pluviales, 10 cm de longitud
1	Tubo de PVC de aguas pluviales, 50 cm de longitud
1	Tubo de PVC de aguas pluviales, 80 cm de longitud
1	Recipiente plástico para el efluente
1	Recipiente plástico de agua pura

5.2.2. PROCEDIMIENTO

5.2.2.1. Recipiente para almacenamiento del biogás: Se realizó la abertura de un agujero de aproximadamente 1 plg., en el tonel pequeño, luego se ensambló el acople con la manguera de ½ plg., para ser adherido al tonel pequeño, para evitar el derramamiento o fugas del biogás (gas metano) se implementó abrazaderas. Como se puede observar en la Figura 2.

Figura 2. Recipiente de almacenamiento del biogás



5.2.2.2. Recipiente del digestor anaeróbico: Para empezar a explicar el proceso del biodigestor, se dividirá en dos partes, para tener claro qué se realizó en cada caso, antes se efectuaron dos agujeros, uno en la parte de abajo y otro en la parte de arriba del tonel mediano; el agujero de la parte de abajo es parte de nuestra alimentación o donde ingresa nuestra materia prima y el agujero de la parte de arriba es nuestra salida o efluente.

5.2.2.2.1. Parte de alimentación del biodigestor: Con el agujero de la parte de abajo o el proceso del ingreso de nuestra materia prima, se empezó a adherir pegamento de PVC de un lado del acople grande para ser ensamblado el tubo de PVC de agua pluvial de 10 cm de longitud, se esperó que el pegamento este seco para luego colocar pegamento en el otro lado del acople y parte del tonel para adherírsele en el agujero de abajo del tonel mediano, ahí se colocó pegamento tanto afuera como adentro, esto se realizó para que este bien cerrado y así evitar fugas o derrames cuando esté en funcionamiento, estando seco, se efectuó a colocar pegamento de PVC en el codo para ser ensamblado en el tubo de 10cm de longitud, se esperó un momento y luego se volvió a colocar pegamento de PVC del otro lado del codo y se adhirió un tubo de PVC de 80 cm de longitud, se esperó que se seicara, este procedimiento es para la parte de la alimentación de nuestro biodigestor donde ingresa nuestra materia prima y para ayudar a ingresar nuestra materia prima se colocó una mitad de un recipiente de agua pura.

5.2.2.2.2. Parte del efluente: Ahora con la salida de nuestra materia prima en forma de efluente, igual como se explicó en la parte de la alimentación se efectuó el mismo paso, adhiriendo pegamento de PVC de un lado del acople grande para ser ensamblado el tubo de PVC de agua pluvial de 10cm de longitud, se esperó que el pegamento este seco para luego colocar pegamento en el otro lado del acople y parte del tonel para adherírsele en el agujero de abajo del tonel mediano, ahí se colocó pegamento tanto afuera como adentro, para que este bien cerrado, al mismo tiempo evitando posibles fugas o derramamientos, cuando este seco, se efectuó a colocar pegamento de PVC en el codo para ser ensamblado en el tubo de 10cm de longitud, se esperó un momento y luego se volvió a colocar pegamento de PVC del otro lado del codo y se adhirió un tubo de PVC de 50 cm de longitud, cuando el biodigestor esté funcionando se coloca el recipiente de plástico que nos sirve para almacenar el efluente y eso sería todo de la parte del proceso de la salida o efluente de nuestra materia prima ya tratada.

Tanto como la parte de alimentación y parte del efluente se puede observar en las siguientes figuras, de la forma de como quedo terminado.

Figura 3. Ensamble de agujeros



Figura 4. Recipiente de biodigestor terminado



5.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se realizó un diseño experimental de tipo longitudinal de tendencia, en la cual se observó el proceso de las variables que intervienen, solo interviniendo en la cantidad de proporción cargas de materias primas, analizando los cambios que se efectuó durante el tiempo transcurre la experiencia .

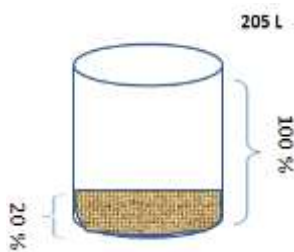
Para asegurarse que nuestro experimentó funcione, se implementó un biodigestor donde se observaría las condiciones de la producción de biogás, en dos procesos para observar cuál era más eficiente, si la carga de materia prima por medio de vinaza o la mezcla de vinaza y estiércol de cerdo, siempre respetando las condiciones de las dimensiones en cada una de estas.

5.4. FUNCIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR

Ya teniendo el biodigestor terminado, se empezó a realizar el ensayo en la cual consiste en la realización de dos experimentos o pruebas, para poder determinar que prueba es la más eficiente, en la primera prueba se realizó una carga de alimentación de materia prima a través de vinaza, en la segunda prueba consiste en una carga de alimentación de vinaza mezclada con estiércol de cerdo.

5.4.1. Carga orgánica volumétrica: Este proceso es muy importante, porque dependerá de cuanto se debe de alimentar nuestro biodigestor, el biodigestor tiene una carga total volumétrica de 205 Litros que abarca el 100%, para ambas pruebas, primero se procedió a llenar carga orgánica volumétrica en su totalidad es decir los 205 litros, para luego realizar la primera alimentación de un 20%, como muestra la figura de abajo, luego en la semana siguiente se realizó un cálculo en base al análisis de dco, para determinar, cuanta carga se debe de alimentar nuestro biodigestor continuamente, teniendo como principal objetivo para ambas de $3.57 \frac{\text{Kg}(\text{DQO})}{\text{m}^3-\text{d}}$,

Figura No. 5 Carga orgánica volumétrica del biodigestor



$$\text{DQO entrada} = 2605 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \Rightarrow 2.605 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Carga Organica Volumetrica} = \frac{\text{Kg} * \text{DQO}}{\text{m}^3 - \text{d}} \Rightarrow \frac{\text{Vol. Alimentacion} * \text{DQO}(\text{entrada})}{\text{Vol. Biodigestor}}$$

$$\text{COV} = \frac{(0.02 \text{ m}^3) * \left(2.605 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)}{0.205 \text{ m}^3} \Rightarrow 0.2541 \frac{(\text{Kg})(\text{DQO})}{\text{m}^3 - \text{d}}$$

El principal objetivo de arranque para nuestro biodigestor, luego con una regla de tres se realiza el cálculo de la cantidad de litros que tiene que alimentarse con base en dicho objetivo.

$$\text{Objetivo} = 3.57 \frac{(\text{Kg})(\text{DQO})}{\text{m}^3 - \text{d}}$$

3.57	X
0.2541	20 Litros

$$X = 280.99 \text{ Litros}$$

5.4.2. Materiales

Cuadro 2. Descripción de materiales para el funcionamiento del biodigestor

Cantidad de material	Descripción
1	Cubeta pequeña con capacidad de 20 Litros
1	Cubre bocas 3M
1	Guantes de látex
1	Camisa manga larga
1	Casco
1	Lentes

5.4.2.1. Procedimiento: Para la primera prueba, como se menciona, se usó materia prima por medio de vinaza, la primera alimentación consistió en llenar la cubeta pequeña con los 20 litros de vinaza como se puede observar en la Figura 6, debido que el efluente cuenta con un potencial orgánico bastante fuerte, no se efectuó una mezcla por ejemplo con agua, como es común cuando se emplea materia prima orgánica, si no que se efectuó vinaza pura, para ser empleados al biodigestor en la parte de alimentación, así es como se empezó a realizar la alimentación que se efectuó de forma semanal, hasta lograr un incremento significativo de eficiencia del biogás.

Figura No. 6 Materia prima (vinaza)



Ahora con la segunda prueba se empleo materia prima, vinaza mezclada con cerdaza, la cerdaza en el *Ingenio Magdalena* cuenta con un lugar donde estan diversos animales, entre ellos coches (cerdos) toledo que son aproximadamente 12, estos coches son parte de nuestra materia prima que se empleará, como se observa en la Figura 7, en la prueba se realizo una proporcion de 10 litros de cerdaza (5 litros de estiércol puro y 5 litros de estiércol líquido) y 10 litros de vinaza que son bien mezclados (ver Figura 9), teniendo en total 20 litros para luego ser empleado en el biodigestor, al igual como se empleo en la primera prueba, se usó el mismo procedimiento alimentando de forma semanal, siempre teniendo en cuenta que puedan poseer los mismos parámetros, para poder evaluar cual de las dos pruebas presenta un mayor porcentaje de eficiencia.

Figura No. 7 Cerdos toledo



Figura No. 8 Estiércol de coches (cerdos)

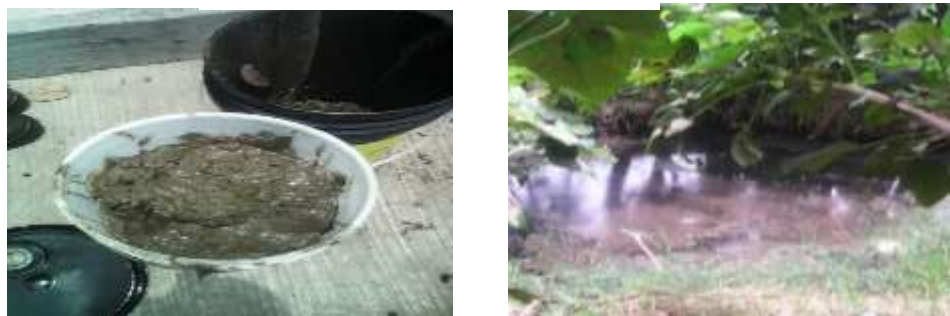


Figura No. 9 Mezcla de estiércol de cerdo y vinaza



5.5. MEDICIONES DE VARIABLES DE ESTUDIO:

5.5.1. Efluente líquido: Se evaluaron los efluentes para determinar los cambios en las características y propiedades de estos, tomando muy en cuenta los siguientes parámetros como temperatura, pH, acidez, alcalinidad, dco, sólidos volátiles y sólidos totales., la forma que se llevó a cabo, fue mediante muestras sacados directamente del biodigestor para la realización de análisis en el laboratorio de la empresa, los tipos de análisis que se realizaron son los siguientes: temperatura, pH, acidez, alcalinidad, dco, sólidos volátiles y sólidos totales, estos con la intención de poder determinar si el efluente puede ser empleado como fertilizante orgánico, durante dos meses y dos semanas por cada proceso (empleo de vinaza y el otro proceso mezcla de vinaza y cerdaza). Para entender mejor el procedimiento que se llevó a cabo en los análisis se muestra a continuación.

5.5.1.1. MATERIALES

Cuadro 3. Descripción de materiales para realización de análisis en laboratorio

Cantidad de material	Descripción	Medida del material
1	Centrifugadora	-----
1	Destiladora analógico	-----
1	Termoreactor TR 320	-----
1	Balanza	-----
2	Microfiltros	-----
1	Campana de extracción de gases	-----
1	Secadora fumace 1300	-----
1	Horno	-----
1	Potenciómetro	-----
1	Recipiente de agua desmineralizada	-----
1	Antiespumante	-----
1	Recipiente de ácido sulfúrico	-----
1	Recipiente de ácido sulfúrico al 50 %	-----
1	Frasco de fenolftaleína	-----
1	Recipiente de hidróxido de sodio	-----
10	Tubos de ensayos	50 ml
2	Balones	100 ml
1	Pipeta	10 ml
2	Probetas	100 ml
2	Recipientes beakers	250 ml
2	Erlenmeyer	250

5.5.1.2. PROCEDIMIENTO. Se realizaron mediciones semanales de los análisis antes mencionados a lo largo del tiempo del ensayo, que duro dos meses y dos semanas cada proceso, siendo en total aproximado de cinco meses, primero se toma dos frascos de plásticos con rosca y tapa con un volumen de aproximadamente 600 ml cada frasco, identificados como se muestra la Figura 10, se agarra un frasco que será el de la entrada o alimentación y el otro la salida o efluente, se agarra el frasco de la alimentación para ser llenado de materia prima (vinaza o mezcla de vinaza y cerdaza), aproximadamente con 300 ml, de lo que alimentamos el biodigestor casero, luego tomamos un potenciómetro ver Figura 11, para observar mediciones de temperatura y pH tanto de la muestra de alimentación como también de la muestra de salida.

Luego de haber hecho estos dos análisis, los frascos son llevados al laboratorio de MAGESA-MAGALCOHOLES, que se encuentra a unos cien pasos de nuestro biodigestor, el procedimiento es el siguiente, ya teniendo los frascos con sus respectivas muestras, se agitan un poco y luego se agrega a los tubos de ensayos de 50 ml (Figura 12)., se toman 5 tubos de ensayos del frasco de la entrada y 5 tubos de ensayos del frasco de la salida, de estos 10 frascos se agarran 4 tubos de ensayos que van hacer la entrada y 4 tubos de ensayos es para la salida, teniendo estos identificados son enviados a una centrifugadora (ver Figura 13) para bajar los sólidos de nuestras muestras con un tiempo de 5 minutos, con respecto a los dos tubos de ensayos que nos queda, no realizan este proceso, porque nos servirá para el análisis de los sólidos volátiles y totales que nos interesa.

Figura No. 10 Frascos



Figura No. 11 Potenciómetro



Figura No. 12 Tubos de ensayos



Figura No. 13 Centrifugadora



5.5.2. ANÁLISIS

5.5.2.1. ALCALINIDAD

5.5.2.1.1. ALIMENTACIÓN O ENTRADA Y EFLUENTE O SALIDA. El procedimiento es el mismo tanto de la alimentación como de la salida, teniendo los tubos de ensayos ya centrifugados, se toma dos tubos de ensayos y se agrega a una probeta de 100 ml (ver Figura 14), luego es agregado a un recipiente beakers de 250 ml como se observa en la Figura 15, (esto se hace debido a que los recipientes beakers no cuenta con una medida exacta, es por esa razón que primero es agregado a una probeta de 100 ml), teniendo la muestra en el recipiente beakers, se agrega 0.5 ml de antiespumante (esto para evitar que haga demasiada espuma y que sea derramado), luego se agrega ácido sulfúrico del recipiente (ver Figura 16), hasta alcanzar una homogenización de 4.3 de pH, mediante un mezcla constante a través del potenciómetro y el gasto que nos salga del recipiente de ácido sulfúrico es la alcalinidad.

Figura No. 14 Probeta de 100



Figura No. 15 Recipiente beakers de 250 ml



Figura No. 16 Frasco de ácido sulfúrico



5.5.2.2. ÁCIDEZ DE ALIMENTACIÓN Y EFLUENTE

5.5.2.2.1. ALIMENTACIÓN O ENTRADA Y EFLUENTE O SALIDA. El paso que se realiza para la entrada y salida es el mismo procedimiento, se toma los últimos 2 tubos de ensayos (como nos queda 2 tanto en la muestra de entrada como en la muestra de salida) se agrega 100 ml de muestra a una probeta de 100 ml para luego ser agregados a una recipiente llamado Erlenmeyer de 250 ml (ver Figura 17) luego se limpia la probeta de 100 ml y se agrega 100 ml de agua desmineralizada para ser agregados al recipiente Erlenmeyer haciendo un total de 200 ml de mezcla, luego tomamos el recipiente de antiespumante y se agrega 0.5 ml, a la vez también se agrega 10 ml de agua desmineralizada y por último se agarra el frasco de ácido sulfúrico de 50%, se agrega 5 ml de este, esta mezcla es enviada a un recipiente del destilador analógico (ver Figura 18) , lo encendemos y lo dejamos funcionar, este aparato nos sirve para tener agua destilada, esa agua que sale del destilador cae en una probeta de 100 ml y otra de 50 ml, ya que queremos 150 ml de agua destilada, cuando tenemos los primeros 15 ml se descarga, se realiza por si la manquera queda con impurezas de otras muestras, como se dijo, de este proceso se quiere 150 ml que son agregados a un Erlenmeyer grande de ahí se agrega 5 gotitas de fenolftaleína como se muestra la Figura 19, (esto son gotas para dar color al agua destilada) y por último lo que tenemos se neutraliza con el recipiente que contiene hidróxido de sodio como se observa en la Imagen 20, la muestra estará lista cuando esta adquiera un color rosa pálido, el gasto que se tenga es la acidez dado en ml.

Figura No. 17 Recipiente de erlenmeyer



Figura No. 18 Aparato de destilador analógico



Figura No. 19 Frasco de fenolftaleína



Figura No. 20 Recipiente de hidróxido de sodio



5.5.2.3. DQO DE ALIMENTACIÓN Y EFLUENTE

5.5.2.3.1. ALIMENTACIÓN Y EFLUENTE. De los tubos de ensayos, nos sobra unos cuantos milímetros de muestra tanto de entrada y salida, se agarra una pipeta de 10 ml y se toma 5 ml de los tubos de ensayos y son agregados a un balón de 100 ml, luego este balón se aforra con agua desmineralizada hasta alcanzar la línea que posee el balón como se muestra la Figura 21, ya cuando se tenga la medida se agita, se toma una caja que contiene las cubetas de spectroquant se agarran 2, uno es para la entrada y otro es para la salida, se toma la cubeta de spectroquant (Figura 22,), se identifica para diferenciar la entrada y salida, luego se agitan suavemente, ya que estos contiene sustancias toxicas, entonces se toma una pipeta de 10 ml y se agarra 1ml del balón de entrada y se agrega a las cubetas de spectroquant se agitan un poco y son enviados a un Termoreactor con una temperatura de 148 °C y con un tiempo de 2 horas (Imagen 23), cuando haya terminado el proceso del Termoreactor estas cubetas son enviadas para un aparato (Figura 24) para medir el dco, donde nos dará el dco dado mg/L.

Figura No. 21 Balón de 100



Figura No. 22 Cubetas de Spectroquant



Figura No. 23 Termoreactor



Figura No. 24 Spectroquant 60



5.5.2.4. SÓLIDOS TOTALES SUSPENDIDOS Y SÓLIDOS VOLÁTILES. De los tubos de ensayos los dos que no fueron centrifugados, por la siguiente razón: para disminuir los sólidos, pero en este caso o proceso es lo que vamos a determinar, entonces primero empezamos a medir el peso de los microfiltros (ver Figura 25) como son solo dos muestras necesitaremos solo dos microfiltros, medimos uno por uno en una balanza como se puede apreciar en la Figura 26, en una bomba al vacío son colocados los microfiltros y luego se toma una pipeta de 10 ml y se agrega 1 ml de muestra de entrada y 9 ml de agua desmineralizada a modo de poder mojar todo el microfiltro, luego es envidado el microfiltro a un horno con una temperatura de 105 durante una hora (Imagen 27), cuando haya terminado se saca y se traslada a una secadora durante 15 minutos como lo muestra la Imagen 28, para luego volver a pesar, entonces se enciende la fumace (Imagen 29) que es una secadora, para que se seque por completo con una temperatura de 505 durante 30 minutos, se vuelve a ingresar a la secadora de vidrio para bajar la temperatura, durante 15 minutos para luego volver a pesar en la balanza, son sacados con una pinza para luego ser llevado a la secadora por otros 15 minutos de aquí son trasladados a la balanza para volver a pesar, para ser agregados a la secadora por 30 minutos y por último ser llevados a la secadora de vidrio durante 15 minutos, es el último peso que se realiza, los pesos son utilizados mediante una fórmula calculada ya sea en Excel o manualmente (cálculo a mano) para saber cuánto sólidos contiene nuestra muestra, este proceso o paso también se realiza de la misma forma para la muestra de salida, que depende mucho de las condiciones que está nuestro biodigestor, por si se está generando lodo.

Figura No. 25 Caja de microfiltros



Figura No. 26 Balanza



Figura No. 27 Horno



Figura No. 28 Secadora



Figura No. 29 Secadora FUMACE



5.6. CÁLCULOS METODOLÓGICOS DE LOS ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS

5.6.1. ALCALINIDAD

Cuadro 4. Datos de muestra de alcalinidad

DATOS	
Gasto de Entrada	17,1 ml
Gasto de Salida	12,2 ml
Concentración	1

$$\text{Alcalinidad} = \frac{((\text{gasto}) * (\text{concentracion}) * (50,000))}{(100)}$$

$$\text{Alcalinidad (entrada)} = \frac{((17,1) * (1) * (50,000))}{(100)} \Rightarrow 8,550 \text{ ppm}$$

$$\text{Alcalinidad(salida)} = \frac{((12,2) * (1) * (50,000))}{(100)} \Rightarrow 6,100 \text{ ppm}$$

5.6.2. ACIDEZ

Cuadro 5. Datos de muestra de acidez

DATOS	
Gasto de Entrada	5,6 ml
Gasto de Salida	5,9 ml
Concentración	0.5
Factor de Recuperación	0.5

$$\text{ACIDEZ} = \frac{((\text{gasto}) * (\text{concentración}) * (60,000))}{(100) * (\text{factor de recuperación})}$$

$$\text{ACIDEZ (entrada)} = \frac{((5,6) * (0.5) * (60,000))}{(100) * (0.5)} \Rightarrow 3,360 \text{ ppm}$$

$$\text{ACIDEZ (salida)} = \frac{((5,9) * (0.5) * (60,000))}{(100) * (0.5)} \Rightarrow 3,540 \text{ ppm}$$

5.6.3. SÓLIDOS TOTALES Y SÓLIDOS VOLÁTILES

Cuadro 6. Datos de muestra de sólidos

PESOS	DATOS
Peso 1	0.1131
Peso 2	0.1164
Peso 3	0.1150

5.6.3.1. SÓLIDOS VOLÁTILES

$$SV = \frac{(P_2 - P_3) * 1,000}{\left(\frac{1}{V} * 1,000\right)} \Rightarrow \frac{(P_2 - P_3) * 1,000}{\left(\frac{1}{1} * 1,000\right)} \Rightarrow (P_2 - P_3) * 1,000,000$$

$$SV = (P_2 - P_3) * 1,000,000 \Rightarrow 1,400$$

5.6.3.2. SÓLIDOS TOTALES

$$ST = \frac{(P_2 - P_1) * 1,000}{\left(\frac{1}{V} * 1,000\right)} \Rightarrow \frac{(P_2 - P_1) * 1,000}{\left(\frac{1}{1} * 1,000\right)} \Rightarrow (P_2 - P_1) * 1,000,000$$

$$ST = (P_2 - P_1) * 1,000,000 \Rightarrow 3,300$$

5.6.4. DQO

5.6.4.1. Destrucción de Demanda Química de Oxígeno

Cuadro 7. Datos de muestra de DQO

Entrada DQO	2605 mg/ L (ppm)
Salida DQO	520 mg/ L (ppm)
Alimentación del biodigestor	20 Litros o 0.02 m^3
Volumen total del biodigestor	205 Litros o 0.205 m^3

$$\text{Destruccion DQO} = \frac{(2605 - 710)}{(2605)} \Rightarrow 0.7274 \approx 0.73 * 100 \Rightarrow 73\%$$

5.7. ANÁLISIS ECONÓMICO

Este punto se debe tomar muy en cuenta, para la implementación de un biodigestor, con respecto al costo, va a variar, dependerá de gran medida, de la tecnología que se adhiera en ella, como de producción, por lo que al realizar la implementación no se verá como un gasto, sino una inversión que contribuye a grandes beneficios, económicos y ambientales.

- Costo de materiales. Es un diseño que se realizó con la intención de optimizar el uso de los recursos de materiales para evitar altos costos, por lo que todos los recursos son materiales que la empresa ya no utilizaba, en la cual en el proyecto fueron de gran utilidad, a continuación, se detallara el estimado de gasto, pero hay que tomar en cuenta que los precios variaran, con respecto a la calidad y el lugar de compra.

Cantidad de material	Descripción	Precio (Q.)
1	Tonel mediano con capacidad aproximadamente de 205 litros.	Q.80.00
1	Tonel pequeño	Q 40.00
1	Manguera de ½” de aproximadamente de 30 cm de longitud	Q.15
2	codos	Q.17.8
2	Acoples grandes para tubos de PVC de aguas pluviales	Q.20
1	Acople pequeño de ½”	Q.5
2	Abrazaderas	Q.8
2	Tubos de PVC de aguas pluviales, 10 cm de longitud	Q.20
1	Tubo de PVC de aguas pluviales, 50 cm de longitud	Q.50
1	Tubo de PVC de aguas pluviales, 80 cm de longitud	Q.80
1	Recipiente plástico para el efluente	Q.20
1	Recipiente plástico de agua pura	Q.15
TOTAL		Q.370.8

5.7.1. Control del proceso:

- Material de carga. Todo tipo de materia orgánica. En este caso vinaza y la mezcla de vinaza y cerdaza
- Tiempo de digestión: dos meses y dos semanas (70 días)
- Temperatura de fermentación: varia de 25° a 28°
- Dilución de la carga: si la materia tarda 2 días en producir el gas. La alimentación diaria será 1/2 con respecto al volumen del tanque.
- Acidez: debe tener un PH entre 5 u 7 levemente alcalino.

Consumo aproximado para una vivienda de 4 personas. (1 m³ de biogás = 1000 l).

Por cada m³ de digestor, produce 0,5 m³ de gas por día.

5.7.2. Como medir el biogás del biodigestor. Se puede medir de varias maneras, la primera es calcular el volumen del gasómetro, por ejemplo si tenemos materia prima de forma líquida, tomamos una cubeta de 20 litros lo llenamos con esa materia prima y la colocamos en el gasómetro, donde llega los 20 litros en el gasómetro le colocamos una línea con marcador, de ese modo hasta abarcar todo el recipiente, cuando va subiendo el gasómetro ya en funcionamiento, podremos observar hasta donde alcanza, de esa forma tenemos la producción de biogás en litros, en la cual convertimos los litros en metros cúbicos. La segunda forma es tener un aparato que pueda medir gases dado en metros cúbicos, que sería de una forma más fácil ya que solo colaríamos la manquera con la llave de paso donde sale el gas al aparato, en ello se observaría la medición, bueno para poder saber cuánto psi, posee nuestro biodigestor, hacemos lo siguiente, se añade una llave de paso y un manómetro que puede ser de 30 psi, (dependerá del tamaño del biodigestor y la proporción de carga que se posee). En nuestro caso, por cada proceso tenemos una cantidad de litros de 2,700 litros, durante dos meses y dos semana cada proceso, que sería aproximadamente 2.7 m^3 de biogás, haciendo un total de 5.7 m^3 de biogás por los dos procesos, que puede ser empleado en distintas aplicaciones, esta producción de biogás fue transportado hacia el almacenamiento de gas que posee el Ingenio Magdalena.

5.7.3. Como medir el efluente para abono orgánico. Para saber cuánto produce de abono orgánico nuestro biodigestor, lo podemos calcular de la siguiente manera, del recipiente que tenemos donde sale nuestro abono orgánico, la pasamos a una cubeta de 20 litros, de esa forma vamos a medir de 20 litros en 20 litros, hasta terminar el proceso. En nuestro biodigestor se tiene como efluente que sirve como abono orgánico una cantidad de 2,100 litros de fertilizante por un proceso, en ambos hacienden a un total aproximado de 4,200 litros de puro abono orgánico natural. Este abono como es natural, puede ser empleado en todo tipo de plantas, lo que se produjo fue mandado a la Finca que posee el *Ingenio Magdalena*.



VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. ANÁLISIS DE LOS EFLUENTES DEL PROCESO DE BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA

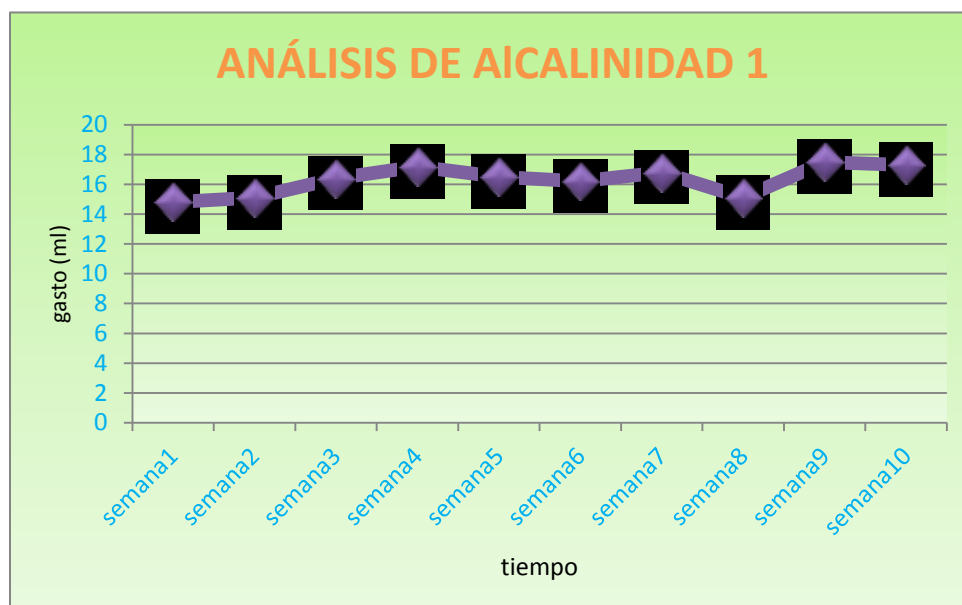
La realización del proceso de biodigestión anaeróbica al ser analizados los efluentes de ambos casos, en la cual lo llamaremos etapa 1 (materia prima de vinaza) expresado como 1 y etapa 2 (materia prima de la mezcla de vinaza y cerdaza) expresado como 2, mostraron las siguientes condiciones. En algunos análisis de las gráficas, solo se empleó el gasto dado en ml, omitiendo datos de las partes por millón (ppm), pero son mostrados en las tablas.

6.2. ALCALINIDAD

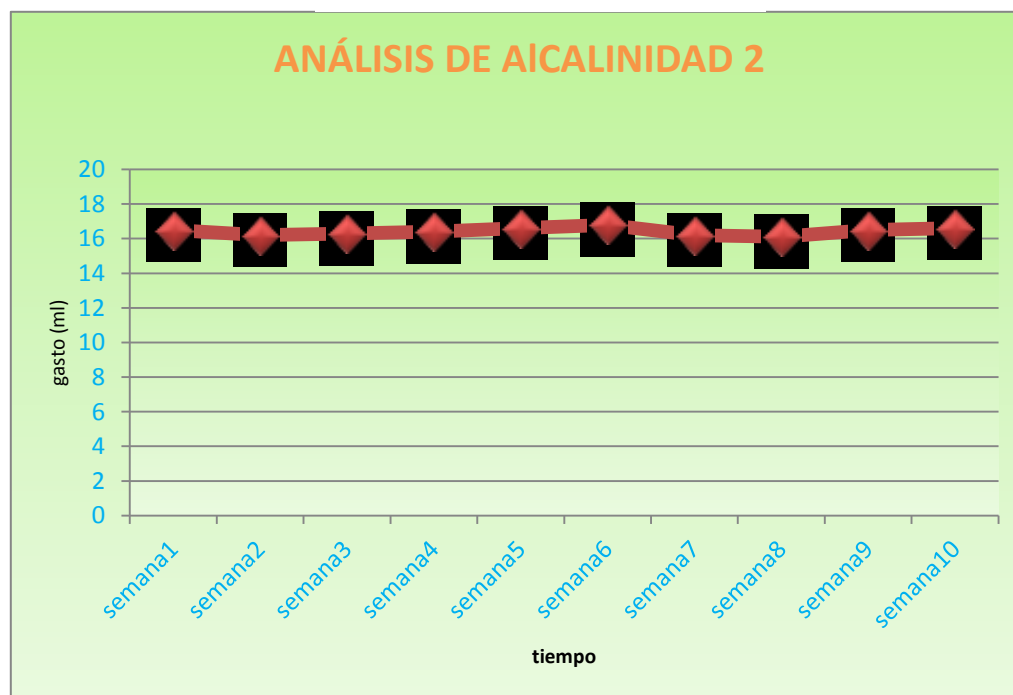
Tabla No. 1. Datos de alcalinidad

Tiempo	Vinaza (ml)	Ppm	mezcla de vinaza y cerdaza (ml)	ppm
semana1	14.8	7400	16.5	8250
semana2	15.1	7550	16.2	8100
semana3	16.4	8200	16.3	8150
semana4	17.2	8600	16.4	8200
semana5	16.5	8250	16.6	8300
semana6	16.2	8100	16.8	8400
semana7	16.8	8400	16.2	8100
semana8	15.1	7550	16.1	8050
semana9	17.5	8750	16.5	8250
semana10	17.3	8650	16.6	8300

Gráfica No. 1. Análisis de alcalinidad 1



Gráfica No. 2. Análisis de alcalinidad 2



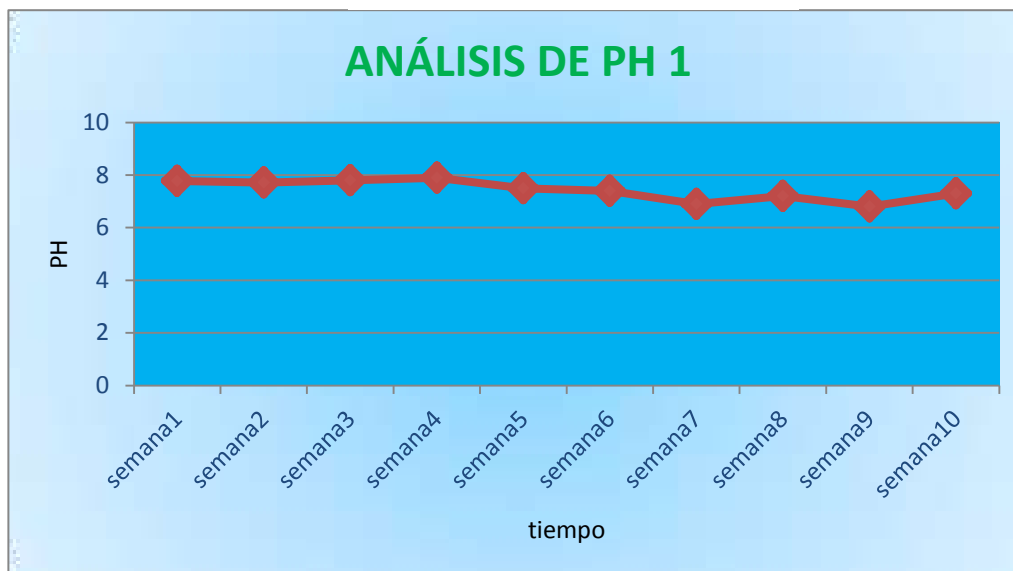
En los análisis realizados, se muestra que ambos procesos están en buenas condiciones, siendo éstas, la etapa 1, 14.8 – 17.5, y la etapa 2 de 16.1 -16.8, no habiendo variaciones sobresalientes, por lo que permite el crecimiento de bacterias metanogénesis para la producción de biogás, la reutilización del efluente, pero si comparamos estas condiciones óptimas, se notara que el análisis de la mezcla de vinaza y cerdaza tiende a ser más estable que la de vinaza.

6.3. PH

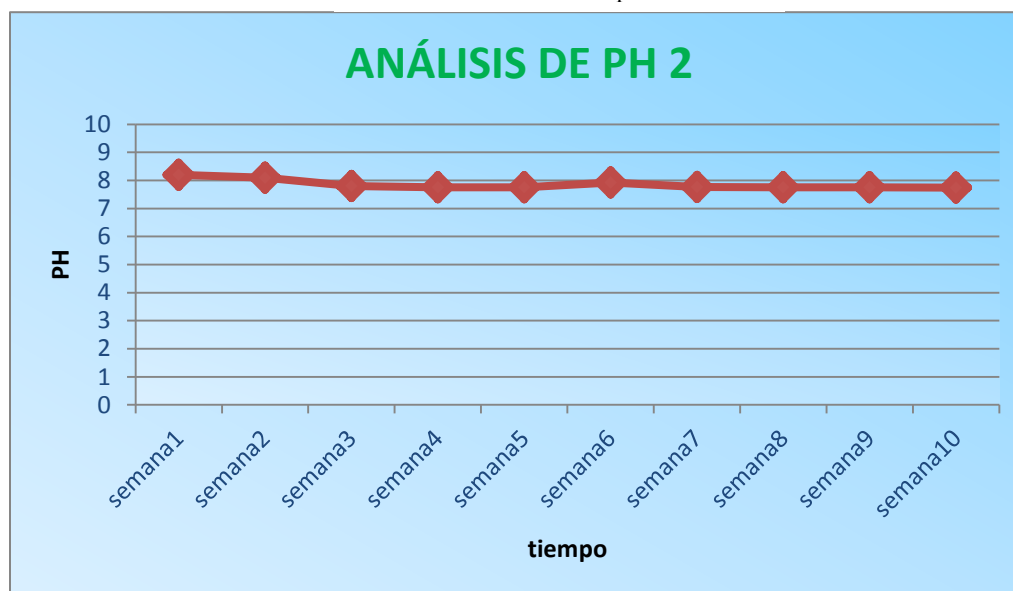
Tabla No. 2. Datos de ph

Tiempo	vinaza	ppm	mezcla de vinaza y cerdaza	ppm
semana1	5.4	3240	6.2	3720
semana2	5.1	3060	6.1	3660
semana3	5.6	3360	6.5	3900
semana4	5.2	3120	6.4	3840
semana5	5.5	3300	6.3	3780
semana6	6.2	3720	6.6	3960
semana7	6.1	3660	6.5	3900
semana8	5.9	3540	6.3	3780
semana9	5.6	3360	6.4	3840
semana10	5.5	3300	6.5	3900

Gráfica No. 3. Análisis de ph 1



Gráfica No. 4. Análisis de ph 2



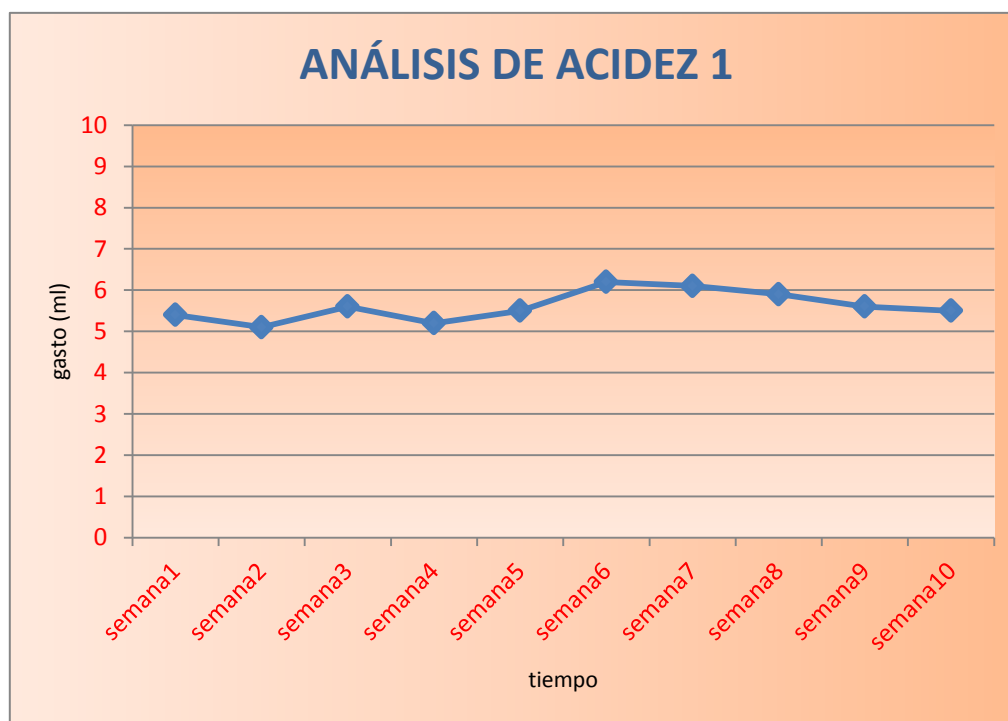
En análisis de pH se observa que se encuentra en óptimas condiciones, cercano a neutro, la etapa 1 en 5.1-6.2 y etapa 2 en 6.1 – 6.6, que ayuda al crecimiento de las bacterias metanogénesis, por lo que es bueno saber que se mantuvo durante el tiempo que duró los dos experimentos en cada caso, pero vemos que hay un leve desequilibrio en el proceso de materia prima empleada por vinaza, que luego a partir de la semana 5 se logró establecer, esto sucedió debido a que el biodigestor se encuentra expuesto a la intemperie y estaba en pleno invierno, que está expuesto a la lluvia, por lo tanto le cayó algunas gotas de lluvia, que hicieron que afectara o variara los resultados de los análisis, por lo que se procedió a proteger el biodigestor cubriéndolo con nylon, que ayudó a que nuestros análisis nos arrojaran resultados más estables, como es el caso del proceso dos, que los resultados fueron más precisos o más cercanos a neutro.

6.4. ACIDEZ

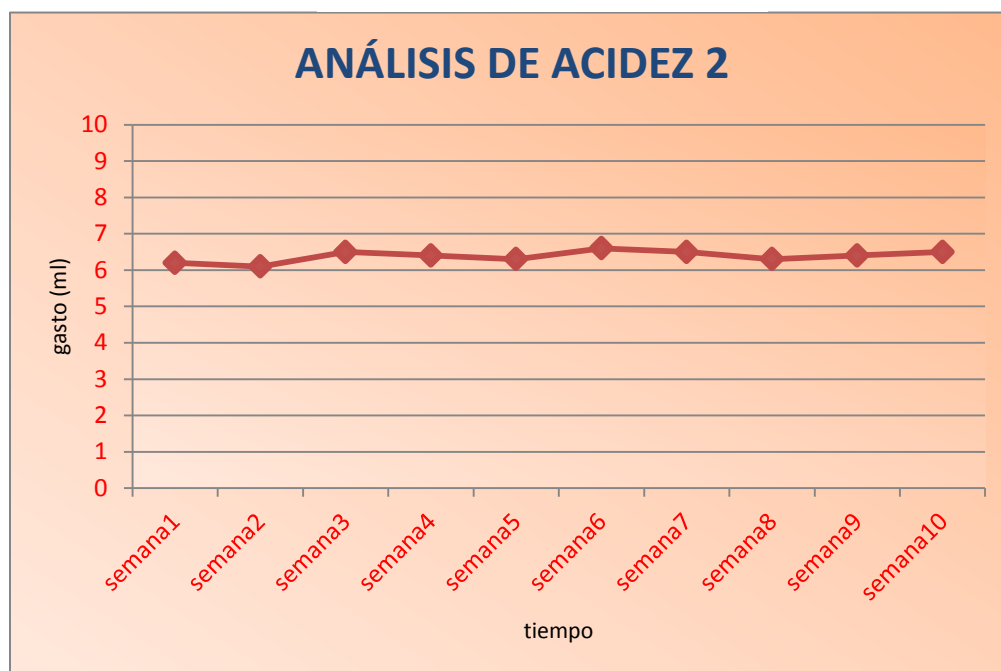
Tabla No. 3. Datos de acidez

ANÁLISIS DE ACIDEZ		
Tiempo	vinaza	mezcla de vinaza y cerdaza
semana1	5.4 ml	6.2 ml
semana2	5.1 ml	6.1 ml
semana3	5.6 ml	6.5 ml
semana4	5.2 ml	6.4 ml
semana5	5.5 ml	6.3 ml
semana6	6.2 ml	6.6 ml
semana7	6.1 ml	6.5 ml
semana8	5.9 ml	6.3 ml
semana9	5.6 ml	6.4 ml
semana10	5.5 ml	6.5 ml

Gráfica No. 5. Análisis de acidez 1



Gráfica No. 6. Análisis de acidez 2



Es muy importante saber en qué condiciones se encuentra la acidez, por lo que es este parámetro permite saber si es utilizado el efluente como abono orgánico, ya que si el análisis sale demasiado alto de acidez, no servirá el efluente. En las gráficas se observa que ambos casos se mantienen cercanos a neutro, en la etapa fue de 5.1 – 6.2, en cambio en la etapa 2 fue de 6.1-6.6, por lo que sí se puede emplear el efluente como abono orgánico, pero al realizar ambos análisis de las gráficas, la mezcla de vinaza y cerdaza se mantiene más estable.

6.5. SÓLIDOS TOTALES Y SÓLIDOS VOLÁTILES

Tabla No. 4. Datos de sólidos totales y sólidos volátiles

ANÁLISIS DE SÓLIDOS VOLÁTILES		
Tiempo	vinaza	mezcla de vinaza y cerdaza
semana1	1400	1300
semana2	1300	1400
semana3	1420	1600
semana4	1200	1430
semana5	1000	1500
semana6	1300	1200
semana7	1500	1250
semana8	1000	1570
semana9	1200	1600
semana10	1100	1400

Gráfica No. 7. Análisis de sólidos volátiles

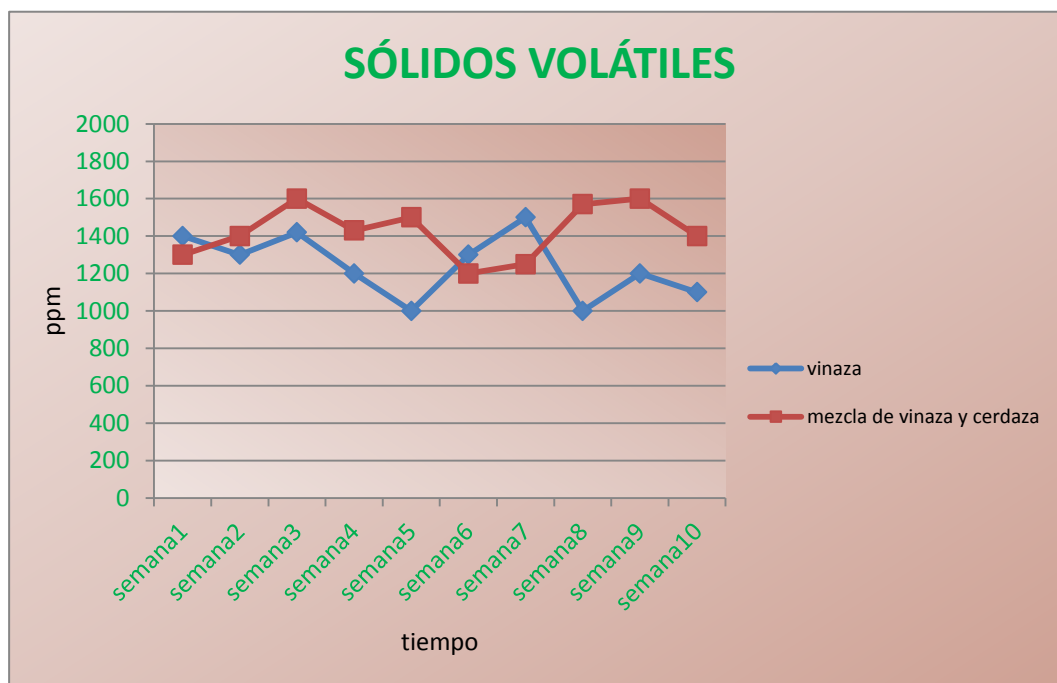


Tabla No. 5. Análisis de sólidos totales

ANÁLISIS DE SÓLIDOS TOTALES		
Tiempo	vinaza	mezcla de vinaza y cerdaza
semana 1	3300	3900
semana2	2500	3400
semana3	2600	3500
semana4	3400	2430
semana5	2500	2500
semana6	2300	3200
semana7	2800	3000
semana8	3000	3500
semana9	3200	2900
semana10	3100	3100

Gráfica No. 8. Análisis de sólidos totales



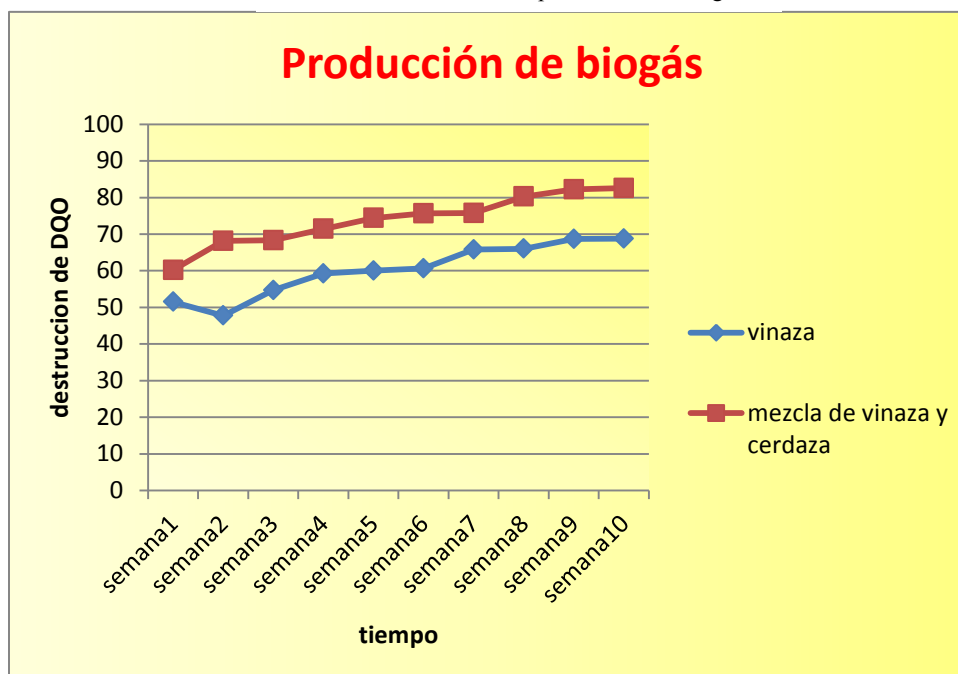
Los resultados detallan que se está generando gas, ya que como se observa en los sólidos en general, ha mostrado disminución en el efluente, se puede observar el comportamiento de los sólidos volátiles y sólidos totales de manera favorable, ya que se tiene menor concentración en la salida, por lo que la mayor parte que ingresa de sólidos en el biodigestor se está quedando a dentro de él, generando lodo, que contribuye a generar nuestro biogás (ya que en la entrada, entra con mayor cantidad de sólidos y durante el proceso en el biodigestor se percata que ha bajado), por lo que ambos procesos están en buenas condiciones, ahora se ve un pequeño detalle en las gráficas, de ambos sólidos, se observa una pequeña diferencia, esto debido que nuestro proceso, específicamente en el proceso dos (mezcla de vinaza y cerdaza), tiene una mayor carga o mayor concentración de sólidos de entrada, como está bien concentrada, cierta parte se queda dentro de él, sacando la demás parte, de ahí es donde tomamos nuestras muestras para los análisis, como se refleja en ambas gráficas.

6.6. DESTRUCCIÓN DE DQO

Tabla No. 6. Análisis de destrucción de dqo

ANÁLISIS DE DESTRUCCIÓN DE DQO		
Tiempo	vinaza	mezcla de vinaza y cerdaza
semana1	51.51	60.21
semana2	47.74	68.13
semana3	54.67	68.3
semana4	59.25	71.42
semana5	60	74.37
semana6	60.61	75.64
semana7	65.77	75.76
semana8	66.01	80.24
semana9	68.66	82.2
semana10	68.75	82.58

Gráfica No. 9. Análisis de producción de biogás



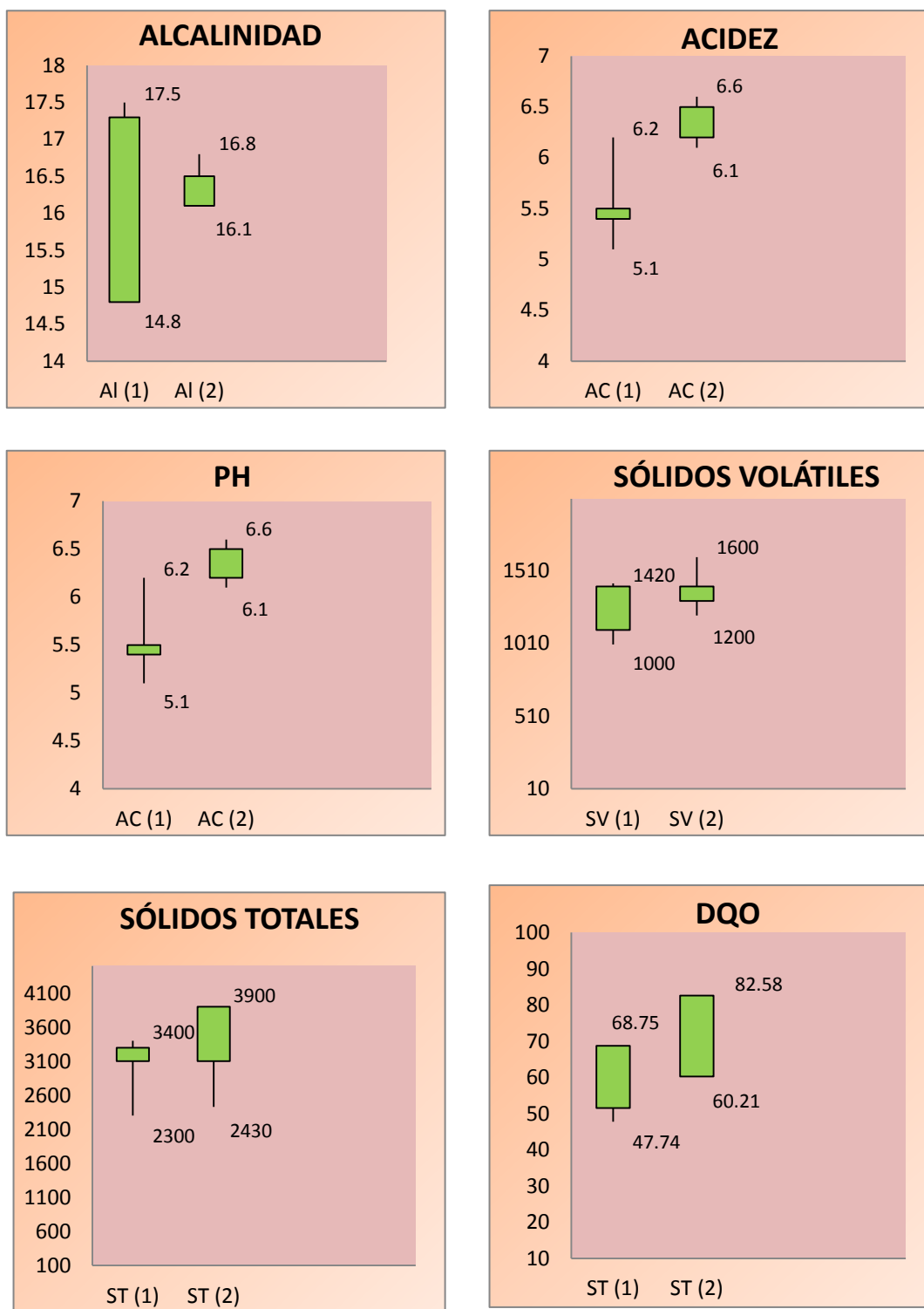
En la gráficas se observa que la producción de biogás, ambas son eficiente teniendo un crecimiento considerable, pero al observar cada caso minuciosamente, se observa que la mezcla de vinaza y cerdaza cuenta con una producción más eficiente de biogás, esto también lo respalda los parámetros de los análisis mostrado anteriormente, que todos se mantuvieron en plenas condiciones ideales del tratamiento de la biodigestion anaeróbica, por lo que hace que la mezcla sea más notoria.

Tabla No. 7. Rangos establecidos de los análisis

RANGOS ESTABLECIDOS DE LOS ANÁLISIS				
Análisis	Apertura	Máximo	Mínimo	Cierre
Alcalinidad (1)	14.8	17.5	14.8	17.3
PH (1)	5.4	6.2	5.1	5.5
Acidez (1)	5.4	6.2	5.1	5.5
Sólidos volátiles (1)	1400	1420	1000	1100
Sólidos totales (1)	3300	3400	2300	3100
DQO (1)	51.51	68.75	47.74	68.75

Análisis	Apertura	Máximo	Mínimo	Cierre
Alcalinidad (2)	16.5	16.8	16.1	16.6
PH (2)	6.2	6.6	6.1	6.5
Acidez (2)	6.2	6.6	6.1	6.5
Sólidos volátiles (2)	1300	1600	1200	1400
Sólidos totales (2)	3900	3900	2430	3100
DQO (2)	60.21	82.58	60.21	82.58

Gráfica No. 10. Rangos de los análisis



Gracias a la construcción del biodigestor y al tipo de alimentación, se ayudó a controlar los parámetros de las muestras, ya que todos los análisis se mantuvieron en las condiciones idóneas que se requieren, para que la producción de biogás se lleve a cabo al igual que el efluente, en el caso de los sólidos nos mostró que dentro del biodigestor se está generando lodo, ya que dentro de él los sólidos se quedan adentro, sacando unas porciones como se muestra en las gráficas del efluente. Por lo tanto todo el funcionamiento fue el correcto, incluyendo, tasa de carga, pH, alcalinidad, temperatura, acidez, DQO, sólidos totales y sólidos volátiles, no teniendo que agregar un componente extra para lograr establecer esas condiciones. Por lo que los resultados que se esperaba fueron los ideales para los dos procesos, realizando el procedimiento correcto.

VII. CONCLUSIONES

- Al diseñar el biodigestor, este se realizó de manera adecuada, porque la empresa nos proporcionó las herramientas y materiales adecuados.
- La realización de los dos procesos de biodigestión anaeróbica, se observa que la materia prima va a variar dependiendo de la materia prima empleada, como es el caso de la materia prima de la mezcla de vinaza y cerdaza.
- Fue importante establecer los cálculos de la carga orgánica empleada, con base en esto, dependió utilizar la cantidad de litros para la alimentación, por lo tanto se concluye que la carga utilizada fue la correcta, siendo ésta, la cantidad de litros mínimo de doscientos ochenta y uno, dando nuestro pH de ambos procesos cercanos a neutro, que oscilan entre 5 a 6.6, aunque también ayudó, al establecer una alimentación de forma periódica.
- Los componentes principales del proceso de biodigestión anaeróbica, fueron la temperatura, pH, alcalinidad, DQO, sólidos totales y sólidos volátiles, estos formaron parte importante para nuestro proceso, que permitió que el proceso de biodigestión anaeróbica se realizara de forma correcta sin ningún inconveniente.
- Las causas principales que afectan las bacterias, principalmente las metanogénesis, son: el oxígeno, porque estas bacterias deben permanecer libre de ello, de lo contrario llevarían a morir durante el funcionamiento, provocando la paralización del proceso; otras causas son la operación de la tasa de alimentación, una de la forma correcta de establecerlo, es mediante cálculos matemáticos; para terminar se tienen la temperatura y el pH que son parte del proceso de biodigestión anaeróbica, que dependerá del tipo de biodigestor que se tenga, como en que dimensiones se tiene, otro factor de esta variación, es la materia prima a utilizar. En los procesos estas causas antes mencionadas, se encontraban en las condiciones ideales por lo que no afectó, llegando a que las bacterias se desarrollaran completamente, a pesar que el biodigestor se encontraba en la intemperie.
- Los comportamientos de los análisis de nuestro efluente, forman parte importante para establecer si este puede ser empleado como abono orgánico o fertilizante orgánico, esto se determina mediante análisis en laboratorio, lo que se espera que el pH, acidez se encuentren cercanos a neutro, en caso contrario no se puede utilizar ya que podría afectar a las plantas.

- Con base en nuestros análisis realizados se logra comprender que el pH, acidez, se encuentran cercanos a neutro, encontrándose en condiciones idóneas, en cambio la temperatura ambiente no afecta la temperatura de operación del biodigestor, ya que la misma se mantuvo estable, los sólidos totales y sólidos volátiles como dco, operaron dentro de los parámetros óptimos, en los sólidos ayudando a generar lodo que ayuda a generar biogás, en cambio el dco se logra verificar el incremento de nuestra producción de gas metano, como se vio reflejado en las gráfica de cada proceso, por lo que se concluye que nuestros análisis de la muestra de efluente fueron todo un éxito, por lo tanto en ambos procesos, el efluente puede ser utilizado como fertilizante orgánico, no causándole daño a las plantas si no al contrario, llegando a beneficiar en todos los sentidos, ya que es un abono natural, siendo estos los resultados obtenidos de las muestras de los análisis (Expresado en forma de rango):

RANGOS ESTABLECIDOS DE LOS ANÁLISIS				
Análisis	Apertura	Máximo	Mínimo	Cierre
Alcalinidad (1)	14.8	17.5	14.8	17.3
PH (1)	5.4	6.2	5.1	5.5
Acidez (1)	5.4	6.2	5.1	5.5
Sólidos volátiles (1)	1400	1420	1000	1100
Sólidos totales (1)	3300	3400	2300	3100
DQO (1)	51.51	68.75	47.74	68.75
Análisis	Apertura	Máximo	Mínimo	Cierre
Alcalinidad (2)	16.5	16.8	16.1	16.6
PH (2)	6.2	6.6	6.1	6.5
Acidez (2)	6.2	6.6	6.1	6.5
Sólidos volátiles (2)	1300	1600	1200	1400
Sólidos totales (2)	3900	3900	2430	3100
DQO (2)	60.21	82.58	60.21	82.58

Por lo que se determina que el proceso más eficiente, fue el del proceso dos, del empleo de la materia prima con la mezcla de vinaza y cerdaza, porque los resultados nos establecieron datos más estables.

- Al emplearse vinaza se genera una producción de gas metano, la vinaza en si en una fuente energética potencial en este proceso, por lo que no se requiere el empleo de agua, como pasa con otras materias primas, principalmente secas, pero para lograr mejorar la calidad de este gas, se empleó la mezcla de vinaza y cerdaza, por lo que ayudo a incrementar la productividad del biogás, haciendo el gas de mayor calidad, gracias a la combinación de ambas materias primas, como se logró observar en las gráficas de los análisis de ambos proceso.

VIII. RECOMENDACIONES

Estas recomendaciones son para todas aquellas personas que quieran implementar su biodigestión anaeróbica. Se realizó un estimado del costo que lleva realizar un biodigestor, lo recomendable es utilizar materiales reciclables, para minimizarse el gasto.

- Tomar en cuenta qué materia prima usar, ya que cada materia prima, se comporta de manera diferente, para lograr una producción mayor se deberá emplear materia prima fresca. El biodigestor requiere ser usado una segunda vez, empleando otro tipo diferente de materia prima al del inicio, para ser usado de nuevo, se recomienda limpiar profundamente el biodigestor, como el almacenamiento de gas, de lo contrario puede ocasionar un mal funcionamiento del tratamiento, generando ineficiencia en la producción de biogás, para terminar, el biodigestor debe estar herméticamente cerrado, para evitar fugas o derramamiento de gas, evitando algún incidente no deseado que podría ocurrir de la misma.
- Es aconsejable manipular o controlar la carga del biodigestor, ya que si nuestra carga es demasiada alta, tiende a que el pH disminuye, por lo que se debe de agregar otro ingrediente extra, como cal para poder incrementarlo, en caso contrario, si se tiene un pH alto, la manera de poder disminuirlo es con ácido, otra sugerencia es que la carga debe ser la misma durante todo el proceso, ya que si se quiere cambiar, hay que dimensionar nuevamente para la carga nueva, porque si no se realiza, el proceso puede incluso a pararse completamente, provocando la no generación de gas metano.
- Es importante identificar qué componentes afectan el proceso de la biodigestión anaeróbica, entre ellos están la temperatura, pH, alcalinidad, d_{qo}, sólidos totales y sólidos volátiles, siendo los más importantes la temperatura, pH.
- Para que las bacterias metanogénesis se desarrolle completamente es importante controlar los factores que la afectan como la tasa de alimentación, temperatura, pH, como también buscar un lugar adecuado en donde colocar el biodigestor, siempre que se encuentre cerca de nuestra materia prima, ya que al estar nuestra materia prima mucho tiempo a la temperatura ambiente, nos puede variar nuestros análisis de temperatura y pH, llegando a que el proceso sea más largo.
- Se recomienda realizar análisis de laboratorio, en caso que se pretenda utilizar el efluente como abono orgánico, siendo lo más importante el pH y acidez, para que no dañe las plantas o cultivos, y lograr tener una buena cosecha.
- Es importante tomar en cuenta lo siguiente, si se pretender incrementar la eficiencia del biogás, es aconsejable poder emplear combinaciones de mezclas de materias primas orgánicas, ya que estas mejoran la calidad de nuestro biogás. Por lo que el proceso de biodigestión resultó ser un proceso adecuado para la degradación y reutilización de los residuos, se debe tomar en cuenta que los productos derivados finales del proceso dependerán de las condiciones que se realizan, como también del tipo de biodigestor construido.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AquaLimpia. «AquaLimpia.» En AquaLimpia, de AquaLimpia, 8. Guatemala, 2013.

BIOGÁS, MIEMBROS DE LA MESA DE. EL SECTOR DEL BIOGÁS AGROINDUSTRIAL EN ESPAÑA. Madrid, 16 de septiembre de 2,010.

Cely, Sonia Raquel Duarte. «Estudio de Factibilidad Técnico-Económico para Aprovechamiento de biogás para el tratamiento de la fuente de la planta extractora de Aceite de Palma.» En Estudio de Factibilidad Técnico-Económico para Aprovechamiento de Biogás para el tratamiento de la fuente de la planta extractora de Aceite de Palma, de Sonia Raquel Duarte Cely, 69. Bucaramanga, 2006.

EL SECTOR DEL BIOGÁS. Madrid, septiembre de 2,010.

GIZ, Personal Técnico del programa 4E de la. «Análisis de Factibilidad de la producción de biogás con .» En Análisis de Factibilidad de la producción de biogás con , de Personal Técnico del programa 4E de la GIZ, 75. TOCOA, COLON, 2013.

Guevara, ing. Antonio. «Producción de Gas y Saneamiento.» En Producción de Gas y Saneamiento, de ing. Antonio Guevara, 56. lima, 1996.

Hilbert, Jorge Antonio. Manual de biogás. 2003.

IDAE. «Situación y Potencial de Generación de Biogás.» En Situación y Potencial de Generación de Biogás, de IDAE, 104. 2011.

Ing. Agro. Marco A. Chavez Solera. «Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA).» En Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), de Ing. Agro. Marco A. Chavez Solera, 6. 1985.

jcalvarado. « MDL en Guatemala.» En MDL en Guatemala, de jcalvarado, 45. Guatemala, 2009.

Merced, Diego De la. «Evaluación de los Parámetros de un Biodigestor Anaerobio tipo Continuo.» En Evaluación de los Parámetros de un Biodigestor Anaerobio tipo Continuo, de Diego De la Merced, 66. XALAPA, VER., 2012.

mgarciape. EL SECTOR DEL BIOGÁS. s.f.

PEREZ, MARIO FERNANDO. «Producción de Energía a partir de Biogás procedente de vertederos RSU.» En Producción de Energía a partir de Biogás procedente de vertederos RSU, de MARIO FERNANDO PEREZ, 198. Guatemala, 2006.

Ramirez, Anne Germain y Humberto. Primera Aproximación y Amenaza de los Combustibles en CA. SAN SALVADOR, FEBRERO de 2010.

X. NEXOS

Magalcoholes

Empresa certificada ISO 9001:2008

22 AV. 11-00 Zona 15 Vista Hermosa III

Guatemala, Guatemala

Teléfonos: + 502 2364-0850 Fax: + 502 2364-0085



La Democracia, 04 de diciembre del 2,015

A quien Interese:

Por este medio hago constar que el joven **MARVIN ROLANDO GARCIA MUJ**, quien se identifica con DPI No. 2168 68297 0502, extendido en el municipio de Santa Lucia Cotz., Departamento de Escuintla; realizo toma de muestras para analizar los parámetros de Biodigestor para complementar el trabajo de Graduación de la carrera de Ingeniería Industrial UVG realizado en planta Mag Alcoholes – Magesa.

Dichos análisis se utilizados para desarrollar el trabajo de investigación (Implementación de un Biodigestor aprovechando los desechos orgánicos para Generar Biogás y/o Abono orgánico).

Sin otro particular, atentamente,


Ing. Marcela Carcamo
Jefe de Laboratorio
MAG ALCOHOLES, S.A.
Extensión 9381 - 9386



/sv
c.c. file



Planta Finca Bagarrilla, Kilómetro 100, La Democracia Escuintla, PUEX - 502 6630-9381

Magalcoholes

Empresa certificada ISO 9001:2008

22 AV. 11-00 Zona 15 Vista Hermosa III

Guatemala, Guatemala

Teléfonos: + 502 2364-0850 Fax: + 502 2364-0085



La Democracia, 04 de diciembre del 2,015

A quien Interese:

Por este medio hago constar que el joven **MARVIN ROLANDO GARCIA MUJ**, quien se identifica con DPI No. 2168 68297 0502, extendido en el municipio de Santa Lucia Cotz., Departamento de Escuintla; realizo su trabajo de Graduación en Mag Alcoholes - Magesa, de la carrera de Ingeniería Industrial UVG.

Tiempo en el cual desarrollo el trabajo de investigación (Implementación de un Biodigestor aprovechando los desechos orgánicos para Generar Biogás y/o Abono orgánico).

Sin otro particular, atentamente,


Ing. Estuardo Domínguez
Gerente de Planta
MAG ALCOHOLES, S.A.
Teléfono 6630-9381

/sv
c.c. file



Planta Física Bogavilla, Kilometro 100, La Democracia Escuintla, PUEC + 502 6630-9381

XI. GLOSARIO

Abono orgánico:	Residuos de plantas, animales y otros desechos añadidos a la tierra para mejorar la estructura del suelo.
Aeróbico:	Proceso bioquímico que se desarrolla en presencia de oxígeno.
Amoníaco(NH ₃):	Es un gas nitrogenado por medio de la degradación de compuesto que contiene nitrógeno como proteínas, urea y ácido úrico.
Anaeróbico:	Proceso bioquímico que se desarrolla en ausencia de oxígeno.
Baumé:	Se calcula por medio de un mustímetro, el baumé sirve para medir el azúcar de un mosto o vino correspondiente a un valor constante de alcohol.
Biopelícula:	Se refiere a organizaciones de forma microbianas que están compuestas por microorganismos entre ellos bacterias y hongos, que se adhieren a la superficie.
Brix:	Es una escala de tipo hidrométrica que nos ayuda a medir el grado de azúcar en un mosto o en un vino, donde un 1.8° Brix corresponde a 1°Baume.
Cerdaza:	Son las excretas de los cerdos en todas las etapas, habitualmente utilizado para uso como abono orgánico ya composteado.
Cromatografía:	Es un método físico donde los componentes se separan entre dos fases.
Descomposición:	Desintegración de los residuos de los desechos orgánicos a través de medios biológicos, químicos o térmicos. La total oxidación química produce dióxido de carbono (CO ₂), agua y materia inorgánica.
Digestor (reactor, tanque de digestión):	Recipiente cerrado herméticamente (tonel) en el que se degrada microbiológicamente un sustrato y se genera biogás.
Efluentes:	Es un residuo líquido que habitualmente está mezclado con sólidos.

Enzimas:	Son moléculas de proteínas que tienen como función de facilitar y acelerar las reacciones químicas de seres vivos.
Gasómetro:	Sirve para almacenar y medir proporciones de gas.
Glicerol:	Conocido habitualmente como glicerina, es una molécula de un compuesto alcohólico de tres grupos (hidroxilos) o es una molécula de tres carbonos.
Hidrolisis:	Hidro significa agua, lisis rotura, que quiere decir la rotura de la molécula de agua, que se debe a la reacción química entre una molécula de agua, esta se fragmenta, los átomos empiezan a formar otro tipo de molécula química.
Lixiviación:	Lavado de una sustancia pulverizada para poder extraer las partes solubles o es un proceso en el cual el disolvente en este caso líquido, se pone en contacto con un sólido pulverizado para poder producir disolución.
Metano (CH ₄):	Es gas incoloro, inodoro y no tóxico. Los productos de su combustión son el dióxido de carbono y el agua, es uno de los principales para generar biogás.
Microorganismos	Son los microorganismos que se desarrollan en ausencia de oxígeno; para algunos, la presencia de oxígeno puede causarle la muerte.
Piridina:	Es de forma líquida incoloro que tiene como principal característica un olor desagradable.
Purina:	Es un grupo de moléculas que se encuentran en todos los seres vivos a una base nitrogenada.
Sedimento:	Es una materia que está en suspensión de un líquido llega a terminar en el fondo debido a una mayor gravedad (esto debido al peso que posee).
Tierra Diatomácea:	Es un insecticida de forma natural.
Volatilización:	Es una evaporación, donde el proceso de una sustancia sólida o sólido, es convertido o transformado en una sustancia gaseosa.