



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA

RESIDUOS GANADEROS: UNA ALTERNATIVA ENERGÉTICA

TESIS PROFESIONAL

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

P R E S E N T A

ELIZABETH PAZOS ROMERO

Director

M.I. DANIEL AGUAYO SIQUEIROS

Codirector

M.C. YOVANI LÓPEZ GONZÁLEZ

MISANTLA, VERACRUZ

ABRIL, 2019



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

FECHA: 02 de Abril de 2019.

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TESIS PROFESIONAL.

A QUIEN CORRESPONDA:

Por medio de la presente hago constar que el (la) C:

ELIZABETH PAZOS ROMERO

pasante de la carrera de INGENIERÍA AMBIENTAL con No. de Control 142T0421 ha cumplido satisfactoriamente con lo estipulado por el **Manual de Procedimientos para la Obtención del Título Profesional de Licenciatura** bajo la opción **Titulación Integral (Tesis Profesional)**

Por tal motivo se Autoriza la impresión del **Tema titulado:**

“RESIDUOS GANADEROS: UNA ALTERNATIVA ENERGÉTICA”

Dándose un plazo no mayor de un mes de la expedición de la presente a la solicitud del Acto de Recepción para la obtención del Título Profesional.

ATENTAMENTE

ING. GERBACIO TLAXALO ESPINOZA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



Archivo.

La tesis titulada: **“RESIDUOS GANADEROS: UNA ALTERNATIVA ENERGÉTICA”**

Fue realizada por **ELIZABETH PAZOS ROMERO** bajo la dirección del Comité Particular indicado, ha sido aprobada y aceptada por el mismo como requisito parcial para obtener el grado de:

INGENIERO AMBIENTAL

Comité Particular

Codirector de
Tesis

M.C. Yovani López González

Asesor

M.C. Alan Antonio Rico Barragán

Asesor

M.Sc. Elizabeth Salazar Hernández



Elizabeth Salazar Hertz

Agradecimientos

Le agradezco a Dios por guiarme en el camino y en mis decisiones tomadas a lo largo de la vida, por brindarme la oportunidad de seguir adelante y seguir alumbrando lo que me falta recorrer.

Le doy gracias a mi madre por ser mi fiel amiga y apoyarme en todo, por enseñarme a ser la persona que soy ahora y nunca dejarme sola, por el amor más sincero de toda mi vida que me brindó y por darme la oportunidad de estudiar y cumplir mis metas.

Agradezco a mi padre por siempre estar conmigo cuando más lo necesité, en las buenas y en las malas, por los valores inculcados en mí y por todo el amor dado a todo lo largo de mi vida.

Agradezco a mi hermana por escucharme, limpiar mis lágrimas, por ser la persona que es conmigo y nunca abandonarme en los momentos que más la necesité.

A mi familia por confiar en que soy capaz de cumplir este gran logro y en las metas que me propongo.

A mi mejor amigo y compañero de vida por apoyarme en las peores situaciones de mi vida y festejar conmigo mis logros, porque es un éxito de los dos el poder concluir mis estudios. Porque él me enseñó que con paciencia y esmero todo es posible.

A mis amigas Jesica y Delsy por siempre creer en mí en todo, apoyarme a no rendirme en mis estudios y contar con ellas en las complicaciones que se presentaban, por estar en mis logros y por qué ellas igual cumplan todos sus metas que nos propusimos a lo largo de la carrera. Que sigamos siendo amigas el tiempo que nos falta en esta vida.

Al ingeniero Daniel Aguayo por exigirme siempre en mis estudios y así yo poder dar lo mejor de mí.

Dedicatoria

Le dedico este trabajo y todos mis esfuerzos a Obdulia, por ser mi mejor amiga, mi compañera de vida, mi persona favorita y la mejor madre que Dios me pudo haber puesto en el camino, porque todos mis logros siempre serán por y para ella. Con todo el amor más sincero y orgullo que te tengo espero que te sientas orgullosa ahora tú de mí mami, nunca olvides que nada ni nadie nos va separar, te amo mucho.

Resumen

La digestión anaeróbica de los residuos de la ganadería es una alternativa energética validada, sin embargo, no se ha hecho un uso extensivo de esta tecnología, por lo que actualmente se sigue teniendo alta contaminación por los residuos generados en el sector ganadero. El impacto energético se produce porque mediante el uso de esta tecnología se obtiene el biogás, el cual tiene un alto poder calorífico y puede tener múltiples aplicaciones, como la generación de energía eléctrica, térmica o enfriamiento. En el aspecto ambiental, los beneficios son directos, porque se evita la fermentación de los residuos a cielo abierto disminuyendo las emisiones de los GEI's, la conversión del metano a dióxido de carbono a través de su quema reduce 20 veces el efecto invernadero principal promotor del calentamiento global y el cambio climático, se evita que estos residuos terminen depositados en los ríos donde contaminan grandes cantidades de agua con materia orgánica, nitrógeno, fósforo y patógenos; además que se produce un fertilizante orgánico de menor costo e impacto que el fertilizante comercial, entre otros. Los impactos sociales asociados a esta tecnología son la generación de nuevos empleos en el sector. El objetivo de la investigación fue cuantificar la generación de biogás con diferentes diluciones, mismas que se llevaron a cabo después de una estimación de los residuos generados en el rastro local y extrapolando al volumen a ocupar en los biodigestores de 15 litros junto con sus réplicas; se determinó la fracción de sangre, estiércol, rumen y agua para 3 experimentos. Siendo la relación de agua y estiércol la representante de los números de dilución (2:1, 1:1, y 1:0) y una cantidad proporcional de sangre y rumen. Posteriormente, se llenaron los recipientes al 86% de capacidad total y se monitoreo diariamente la producción de biogás, la temperatura ambiente y se realizó la prueba de flama para confirmar si se produce metano. Debido a que hubo cambios de temperaturas mientras el experimento fue realizado nuestros resultados fueron muy variantes, de acuerdo a la producción de metano, esto fue porque cuando la temperatura fue baja, la producción del biogás fue poca no siendo suficiente para poder realizar la prueba de flama. Aun así, se obtuvieron mayormente resultados positivos en la dilución 2:1 con un total de 41.34 Lt de biogás producido, por segundo lugar en 1:1 con 30.26 Lt y por último en la dilución 1:0 con 20.7 Lt de biogás.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
CAPITULO I. GENERALIDADES	1
1.1 Introducción.	1
1.2 Problemática.....	2
1.3 Justificación.	3
1.4 Objetivos.	4
1.4.1 General.	4
1.4.2 Específicos.	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Sector ganadero.	5
2.2. Residuos ganaderos.....	6
2.3. Biodigestión.	7
2.4. Biodigestores.....	8
2.5.1 Tipos de biodigestores.....	9
2.5.2 Biodigestor tipo Batch.....	9
2.5.3 Biodigestor tipo Hindú.....	10
2.5.4 Biodigestor tipo Chino.	11
2.5.5 Biodigestor tubular.	12
2.5. Proceso de la biodigestión.....	13
2.5.1 Descripción de las fases.	15
2.6. Parámetros ambientales y operacionales.....	16
2.6.1. pH.....	16
2.6.2. Nutrientes y relación carbono/nitrógeno.	17
2.6.3. Temperatura.	17
2.7. Productos de la biodigestión.	18
2.7.1 Biogás.....	18
2.7.2 Almacenamiento del biogás	20
2.7.3 Uso del biogás	20
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	22
3.1 Localización de proyecto.	22
3.2 Evaluación de las tecnologías de biodigestores.	22
3.3 Acondicionamiento de los biodigestores.....	23
3.4 Cálculo de la proporción de residuos a los biodigestores.	25
3.5 Recolección de la materia prima.	25
3.6 Llenado y sellado de los biodigestores.....	27
3.7 Evaluación de la producción de biogás.....	28

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
4.1 Medición de biogás.	30
4.2 Comparación de producción de biogás.	33
4.3 Producción de biogás total.	34
4.4 Medición de temperatura.....	35
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES.....	37
CAPITULO VI. RECOMENDACIONES.	38
CAPÍTULO VII. BIBLIOGRAFÍA	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Biodigestor Batch.....	10
Figura 2. Biodigestor Hindú.	11
Figura 3. Biodigestor DPH.	12
Figura 4. Biodigestor tubular.	13
Figura 5. Fases de la digestión anaerobia.	14
Figura 6. Principales usos del biogás.	21
Figura 7. Instituto Tecnológico Superior de Misantla.	22
Figura 8. Lavado de los biodigestores.	24
Figura 9. Marcaje del volumen.	24
Figura 10. Acondicionamiento del almacenamiento.	24
Figura 11. Extirpación de coágulos.	26
Figura 12. Extracción de jugo ruminal.	26
Figura 13. Recolección de estiércol.	27
Figura 14. Llenado de los biodigestores.	27
Figura 15. Sellado de los biodigestores.	28
Figura 16. Método de campana flotante.	28
Figura 17. Prueba de flama.	29
Figura 18. Producción de biogás.....	31
Figura 19. Producción de biogás de las repeticiones.	32
Figura 20. Producción de biogás de los seis biodigestores.....	33
Figura 21. Biogás total.	34
Figura 22. Temperatura promedio de cada día.	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales Estados productores de ganado.....	5
Tabla 2. Composición del estiércol.....	7
Tabla 3. Características de las fases de fermentación y las bacterias que actúan.	15
Tabla 4 Composición del biogás.....	18
Tabla 5 Características generales del biogás.	19
Tabla 6. Tecnologías de digestión anaeróbica.	23
Tabla 7. Proporción de las diluciones en los biodigestores.	25
Tabla 8. Producción de biogás diaria.....	30

CAPITULO I. GENERALIDADES

1.1 Introducción.

La digestión anaerobia es un proceso complejo desde el punto de vista microbiológico; al estar enmarcado en el ciclo anaerobio del carbono, es posible en ausencia de oxígeno, transformar la substancia orgánica en biomasa y compuestos inorgánicos en su mayoría volátiles: CO₂, NH₃, H₂S, N₂ y CH₄. Naturalmente ocurre en el tracto digestivo de animales y debajo de aguas estancadas o pantanos, pero también puede realizarse en depósitos cerrados herméticamente, llamados digestores. Estos se utilizan cuando se quiere captar todos los productos obtenidos de la descomposición anaerobia (gases y sólidos), ya que al haber en su interior un ambiente obscuro y sin aire se favorece el medio óptimo para el cultivo intensivo de bacterias anaerobias (Salazar, 1993).

En esta condición, cuando se acumulan polímeros naturales orgánicos como proteínas, carbohidratos y celulosa, se produce un rápido consumo de oxígeno, del nitrato y del sulfato por los microorganismos, realizando la metanogénesis; en estas condiciones, el nitrato se transforma en amonio y el fósforo queda como fosfato. También se reducen los iones férricos y mangánicos, debido a la ausencia de oxígeno (Lorenzo Acosta & Obaya Abreu, 2005). El método básico consiste en alimentar al digestor con materiales orgánicos y agua, dejándolos un período de semanas o meses, a lo largo de los cuales, en condiciones ambientales y químicas favorables, el proceso bioquímico y la acción bacteriana se desarrollan simultánea y gradualmente, descomponiendo la materia orgánica hasta producir grandes burbujas que fuerzan su salida a la superficie donde se acumula el gas (Soria Fregoso *et al.*, 2001).

El método de llenado de los biodigestores no fue el tradicional, ya que se le anexaron otros complementos, que se mostrarán en los siguientes capítulos de este trabajo y sucesivamente se analizarán los resultados de la presente investigación.

1.2 Problemática.

Uno de los mayores causantes de Gases de Efecto Invernadero (GEI's) es el sector ganadero, el cual es responsable de alrededor de 18% de las emisiones mundiales de dichos gases. Durante el proceso de digestión el ganado bovino libera entre 3 y 4 L de gas metano (CH_4) directamente a la atmósfera por eructos y flatulencias; estamos hablando de 1,000 y 1,500 L al año individualmente por estos animales. La importancia del metano es que genera 21 veces más el efecto invernadero que el propio CO_2 .

El sector ganadero genera enormes cantidades de estiércol, un residuo no aprovechado con alto contenido de nitrógeno (N) y fósforo (P), pero también de diversos patógenos; esto último lo limita para ser utilizado como mejorador de suelos. El estiércol al ser depositado directamente en el suelo lo contamina con estos elementos; mismos que llegan a los cuerpos de agua por lixiviación y otros mecanismos.

El municipio de Misantla abastece carne bovina en la región, así como en los estados vecinos, es por ello que en el rastro municipal se hace una matanza moderadamente necesaria, acción que contamina mantos acuíferos con los restos que este genera y que no son tratados correctamente para evitar esta contaminación.

Cuando se realiza la primera actividad en el centro de sacrificio de Misantla toda la sangre del bovino se va por el desagüe hasta que esté listo para pasar a las siguientes etapas. Posteriormente, se lleva a cabo el lavado del lugar donde fue desangrado, se mezcla agua con cloro, ahora se hace la combinación del agua, cloro y sangre, todas llevadas al mismo lugar.

El desagüe del rastro se llena a un punto determinado, se vacía directamente a una laguna de tipo aguas negras sólo que esta consta de todos los residuos restantes que se producen de la matanza de cada una de las vacas, formando automáticamente diversas lagunas, de acuerdo con cómo va fluyendo las mezclas de residuos líquidos. Actualmente, el rastro cuenta con 3 lagunas con putrefacción, la última de ellas se desborda llegando al arroyo que se encuentra justo en la entrada, provocando malos olores en la colonia de la parte baja.

1.3 Justificación.

La digestión anaeróbica de los residuos de la ganadería es una alternativa energética probada y validada, sin embargo, no se ha hecho un uso extensivo de esta tecnología, por lo que actualmente se sigue teniendo alta contaminación por el sector ganadero.

A través de esta tecnología se valorizan los residuos agropecuarios y se generan amplios beneficios energéticos, ambientales, sociales y económicos; brindando una alternativa a los subproductos generados en este sector, incentivar la innovación e incrementar sus ganancias.

El impacto energético se produce debido a que esta tecnología produce el biogás, el cual presenta un alto poder calorífico y se puede utilizar para múltiples aplicaciones; la generación de energía eléctrica, térmica o enfriamiento. Se utiliza como sustituto del gas LP solo modificando los quemadores para el biogás.

En el aspecto ambiental, los beneficios son diversos: evita la fermentación de los residuos a cielo abierto que posteriormente emiten numerosos GEI's, la conversión del metano a dióxido de carbono a través de su quema reduce 20 veces el efecto invernadero principal promotor del calentamiento global y el cambio climático; además se evita que estos residuos terminen depositados en los ríos donde contaminan grandes cantidades de agua con materia orgánica, nitrógeno, fósforo y patógenos. Es de destacar que se produce un fertilizante orgánico de menor costo e impacto que el fertilizante comercial.

Los impactos sociales asociados a esta tecnología se basan en la generación de nuevos empleos en el sector, mejorando el ingreso para las familias en la escala local, favoreciendo el flujo económico.

Es por todo lo anterior, que es necesaria la implementación de esta alternativa tecnológica, en la cual se da un uso productivo a los residuos orgánicos que se generan en las actividades ganaderas; transformando el desarrollo de esta industria hacia un desarrollo sustentable.

1.4 Objetivos.

1.4.1 General.

Generar biogás a partir de residuos ganaderos, como fuente de energía alternativa.

1.4.2 Específicos.

- Evaluar las distintas tecnologías de biodigestores para los residuos orgánicos ganaderos.
- Estimar la generación de residuos en el rastro municipal.
- Determinar la mezcla de los residuos ganaderos para maximizar la producción de biogás.
- Evaluar la producción de biogás con fines energéticos.
- Estimar el potencial energético de los residuos ganaderos en Misantla, Ver.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Sector ganadero.

La ganadería es la actividad que se refiere al cuidado, alimentación de animales como lo son: los cerdos, vacas, pollos, etc. Esta crianza se realiza con el fin de aprovechar la carne, leche, huevos, que ellos nos brindan.

La producción de animales bovinos en México tiene un crecimiento mensual promedio del 2%, con un estimado de producción anual acumulada para el 2017 de 12,181,112 de animales; según los datos del Sistema de Información Agrícola y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) (SIAP/SAGARPA, 2017).

Veracruz de Ignacio de la Llave es uno de los principales estados productores de ganado bovino con 261,581 toneladas siendo estas el 15.1% de producción a nivel nacional, como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 1. Principales Estados productores de ganado.

PRODUCTO	ENTIDAD FEDERATIVA	TONELADAS	% EN EL TOTAL NACIONAL	LUGAR NACIONAL
Bovino	Veracruz de Ignacio de la Llave	261,581	15.1	1 de 32
	Jalisco	180 292	10.8	2 de 32
	Chiapas	108 032	6.2	3 de 32

Fuente: (INEGI, 2011)

Se han realizado estudios simulando diversos escenarios futuros para la producción ganadera, basados en una extrapolación de los patrones actuales de consumo, específicamente las cantidades de productos animales y los tipos de productos consumidos en proporción al

consumo medio actual en diferentes regiones del mundo; y con la producción ganadera basada en pastoreo en tierras de cultivo. Los resultados muestran que las tierras productivas actuales no alcanzarán para abastecer las demandas de estos productos en el 2050; además se continuará con el incremento de las emisiones de GEI's (Roos *et al.*, 2017).

Basados en los estilos de consumo actuales, la ganadería se vuelve un problema ambiental grave, debido a que se estima que para producir una caloría de carne se requiere consumir 6 calorías de vegetales; así mismo para el agua donde se estima que se consumen 15,000 Lt de agua para producir 1 Kg de carne, mientras que para producir 1 Kg de maíz solo se requieren 1,500. Es decir, en porcentaje energético estamos desaprovechando el 83% y en materia de agua el 90% por consumir carne en lugar de vegetales (Cohen, 1995).

Esta área de oportunidad se debe abordar desde el perfil del Ingeniero Ambiental proponiendo soluciones para reducir ese impacto y buscar la manera de volver sustentable la producción de carne, hasta donde sea posible; a través de la reutilizando los residuos generados.

2.2. Residuos ganaderos.

La composición del estiércol de los animales depende de su edad, ya que un animal joven se alimenta y absorbe mayor cantidad de fósforo y nitrógeno, por el contrario, los animales viejos cuando ya llegan a su etapa adulta, solo absorben las propiedades necesarias para cubrir las pérdidas que tienen.

El biodigestor anaerobio es una de las mejores opciones para disminuir los GEIs, ya que captura y destruye el CH₄, y para el N se puede aplicar de igual manera aplicar a la tierra el estiércol para asimilarlo, pero esto aún puede tener una alteración de ciertos resultados (Kaufmann, 2015).

El estiércol de ganado bovino contiene diferentes nutrientes en los que destacan un alto porcentaje de materia orgánica, calcio, nitrógeno, entre otros (Tabla 2).

Tabla 2. Composición del estiércol.

NUTRIENTE	VACUNOS
Materia orgánica (%)	48,9
Nitrógeno total (%)	1,27
Fósforo asimilable (P ₂ O ₅ , %)	0,81
Potasio (K ₂ O, %)	0,84
Calcio (CaO, %)	2,03
Magnesio (MgO, %)	0,51

Fuente: (Moreira & Eyner, 2013)

Con la biodigestión se busca de cierta manera reintegrar los nutrientes a los ciclos biogeoquímicos naturales y así a la cadena productiva; para con ello dejar de depender de los fertilizantes químicos, contaminantes, cancerígenos y caros.

2.3. Biodigestión.

La biodigestión o digestión anaerobia, es un proceso biológico en el que la materia orgánica en ausencia de oxígeno, y mediante la acción de un grupo de bacterias específicas, se descompone en productos gaseosos o “biogás” (CH₄, CO₂, H₂, H₂S, etc.), y en digestato, que es una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, etc.)

El proceso controlado de digestión anaerobia es uno de los más idóneos para la reducción de emisiones de efecto invernadero, el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos ganaderos, además de ser un biofertilizante con los productos tratados.

La digestión anaerobia puede aplicarse a residuos ganaderos, agrícolas, industriales, entre otros (solo la fracción orgánica); Entre los residuos se pueden citar purines, estiércol, residuos agrícolas o excedentes de cosechas. Estos residuos se pueden tratar de forma independiente o junta, mediante lo que se da en llamar co-digestión. Teniendo ya el sustrato, a este se le hace un proceso de pretratamiento antes de introducirlo dentro del biodigestor. El proceso de

pretratamiento nos ayuda para que se destruyan las cadenas con las que constan los compuestos orgánicos. Llevado a cabo la técnica se ve en aumento la producción de biogás generado dentro de un biodigestor (Alvarez, 2012).

La digestión anaerobia también es un proceso adecuado para el tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica, como las producidas en muchas industrias alimentarias. La biodigestión se lleva a cabo en condiciones anóxicas, en un recipiente sellado llamado biodigestor, donde se realiza el proceso de la biodigestión de la materia orgánica por efectos bacterianos y se obtienen los productos biogás y biol (Guevara, 1996).

2.4. Biodigestores.

Son un depósito cerrado de formas diversas dependiendo de qué tipo de biodigestor es, en donde se almacena materia orgánica extraída del sector ganadero, diluida con agua; ya agregado esto dentro del biodigestor se descompone por efecto bacteriano y en ausencia de oxígeno para generar biogás.

De todas las formas de las que se puede crear el biodigestor, es menos recomendable hacerlo de forma rectangular, ya que este genera más gastos de construcción y dentro de él se crean distintas temperaturas, que afecta el aprovechamiento del sistema (Aguayo et al., 2009).

Lo más importante para que se lleve a cabo la transformación necesaria de la materia orgánica que ocupamos aquí, es la población microbiana, la gran variedad de bacterias y de rutas cinéticas hace difícil la predicción de los resultados, sin embargo, hay muchos estudios que establecen los bioprocesos (FAO, 2011).

2.5.1 Tipos de biodigestores.

De acuerdo a Salazar *et al.* (2012) los biodigestores pueden clasificarse de varias formas, una de ellas es en base a su operación para la cual existen 3 tipos, los cuales son:

- **Sistema discontinuo:** es conocido como de carga fija, ya que solo se hace una carga total del biodigestor, para así después cerrarlo para crear el biogás, en sí se cierra de 20 a unos 50 días. Cuando ya no esté produciendo biogás esta carga, se lleva a cabo el vaciado. El sistema discontinuo más conocido es de tipo *Batch*.
- **Sistema semicontinuo:** su mayor uso es urbano o rural, el tamaño que pueden presentar es de pequeño a mediano, es muy recomendable para una producción diaria de biogás. Los modelos más destacados de este sistema son el tipo hindú, DPH y de manga de polietileno.
- **Sistema continuo:** Se lleva a cabo un flujo de la materia orgánica constante. Este presenta un sistema más industrial, ya que, se necesitan equipo para alimentarlos, manteniendo una temperatura y agitación constante, llevando un control de todo el proceso.

2.5.2 Biodigestor tipo Batch.

El digestor de sistema *Batch* (Fig. 1) se puede hacer con un tanque de plástico con su debida tapa, se pone la materia dentro de él, por la presión del gas que tiene dentro el biodigestor se verá un poco inflado (Martina *et al.*, 2005).

Una de las ventajas con las que cuenta este tipo de biodigestor, es que se carga una vez y se vacía cuando ya haya finalizado la degradación. Son buenos para crear lodos estabilizados, eso ayuda a crear fertilizantes. La desventaja de éste es que para descargarlo lleva su tiempo (Salvador & Sanchez, 2015).

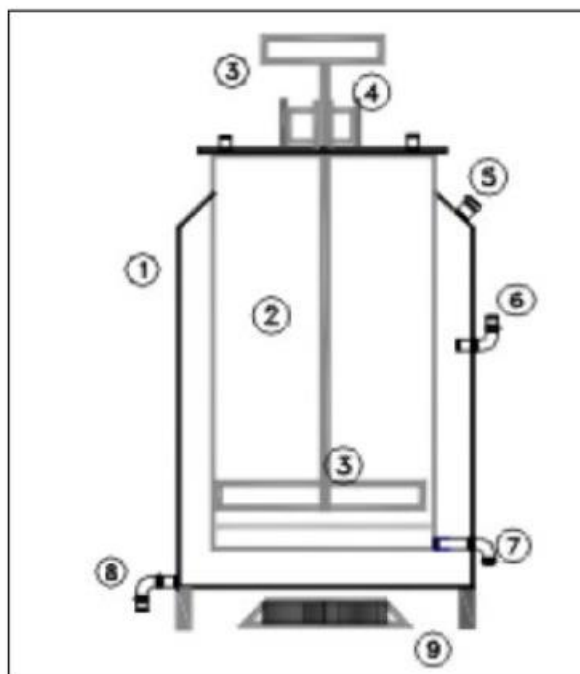


Figura 1. Biodigestor Batch.

Diagrama del sistema del reactor. 1) cubierta exterior. 2) recipiente de material biológico. 3) agitador manual. 4) sello hermético. 5) orificio de alimentación de agua caliente. 6) orificio de instalación del termómetro. 7) orificio de descarga y toma de muestra. 8) orificio.

2.5.3 Biodigestor tipo Hindú

El modelo de biodigestor hindú es un domo que se mantiene en flotación. Debe ser construido con un material que no se corra. Flota de acuerdo al gas que contenga, es por eso que su estructura debe ser hecha para no pegar en las paredes de donde se localiza el almacenamiento del gas, de igual forma la pared debe tener rieles. Tiene la ventaja de que mantiene el biogás a una presión constante (González Estrada, 2011).

En resumen, la gran ventaja del biodigestor tipo hindú (Figura 2) es que se caracteriza por el proceso que se realiza dentro de él, ya que lo genera a presión constante. Es por eso que avala un buen trabajo para los aparatos que utilizan el biogás como combustible. Incluso si se requiere de mayor presión se le agrega peso a la campana flotante para incrementarla. El gas generado se deposita en la campana, es por eso que cuando sube significa que se está

generando el biogás pero cuando baja, es que el gas generado, ya fue consumido (Narváez & Saltos, 2007).

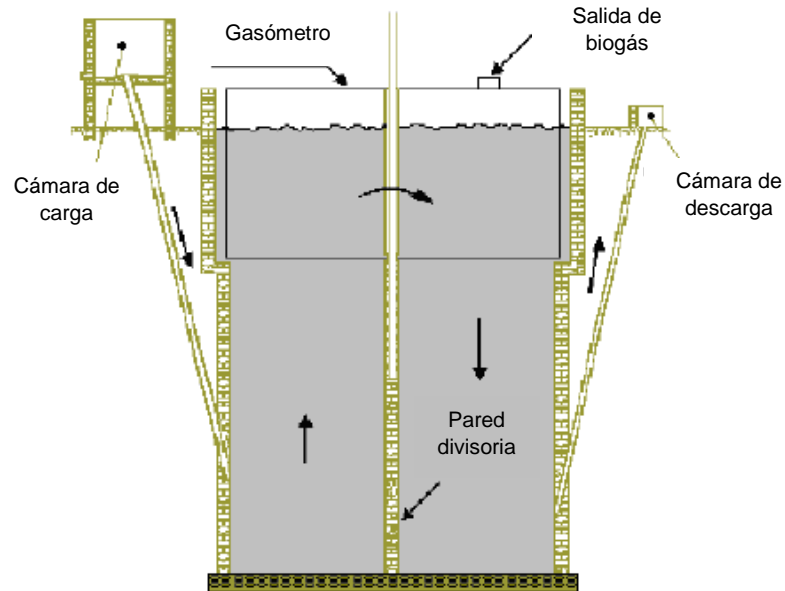


Figura 2. Biodigestor Hindú.

2.5.4 Biodigestor tipo Chino.

Los biodigestores chinos (Figura 3) también conocidos como DPH (Digestor de Presión Hidráulica) es una tecnología China, el cuerpo de este biodigestor se va encontrar forjado en concreto, como dato importante es igual mencionar que esta tecnología asimila desde estiércol animal, hasta los residuos de comida.

En este sistema la presión del gas es fluctuante y no posee mucho almacenamiento de biogás, es por ello que deben construirse donde el biogás se esté quemando directamente o con un almacenador de gas externo (IDEHU y CEBiot, 2012).

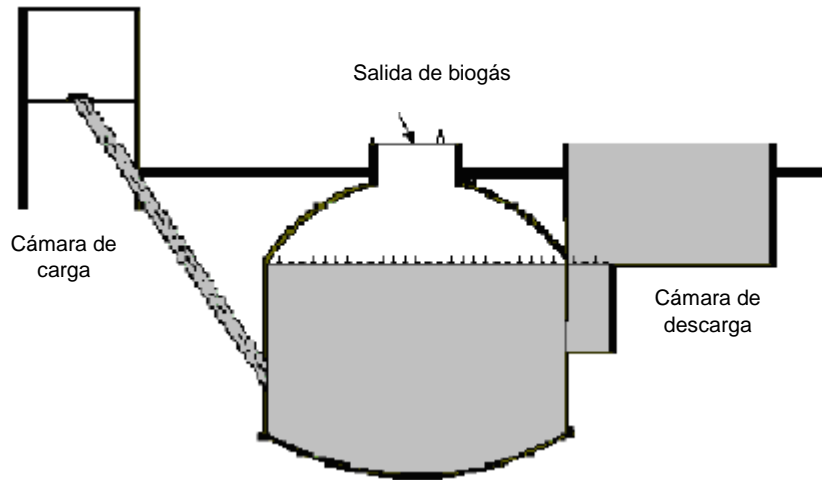


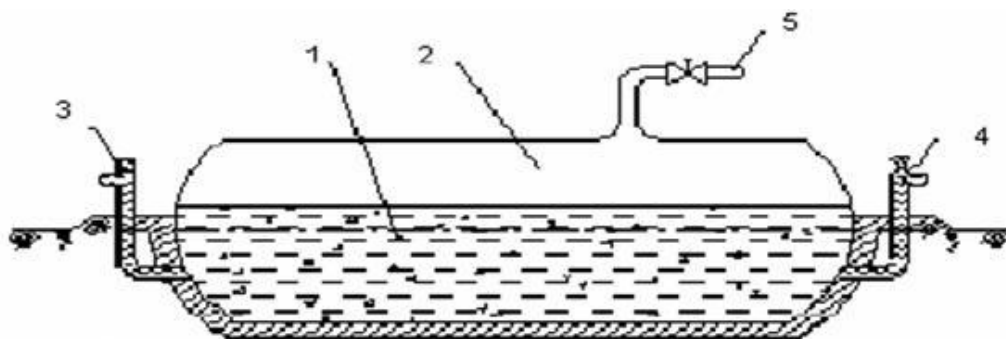
Figura 3. Biodigestor DPH.

2.5.5 Biodigestor tubular.

El biodigestor tubular (Figura 4) es uno de los tipos más usados para la producción de biogás, ya que es de bajo costo por el material que está hecho. El primer biodigestor tubular fue construido en Taiwán.

Su material es de plástico, y eso lo hace menos sofisticado. En sí aparte de que es de bajo costo, otra de las ventajas es que su construcción y mantenimiento es rápido, fácil de hacer, por lo cual no se requiere de algún curso o adiestramiento para llevarlo a cabo. Se debe de prestar atención en el lugar, ya que no debe haber piedras filosas o raíces en las paredes o el piso, para ser explícitos las paredes tienen que ser firmes y el piso debe ser plano o con una ligera pendiente.

Como medidas de prevención se debe de tener una cerca alrededor del biodigestor, para que así no haya animales cerca de él, de igual manera se debe proteger de la luz solar, esto es solo poniendo una cobertura sobre el mismo; debido a que los materiales plásticos son degradados por la radiación solar (Domínguez & Ly, 2000).



1-Digestor. 2-contenedor de biogás. 3-Entrada. 4-Salida. 5-Tubo para sacar gas.

Figura 4. Biodigestor tubular.

2.5. Proceso de la biodigestión.

La fermentación anaeróbica involucra a un complejo número de microorganismos de distinto tipo los cuales pueden ser divididos en tres grandes grupos principales. La real producción de metano es la última parte del proceso y no ocurre si no han actuado los primeros dos grupos de microorganismos. Las bacterias productoras del biogás son estrictamente anaeróbicas y por lo tanto sólo podrán sobrevivir en ausencia total de oxígeno atmosférico. Otra característica que las identifica es la sensibilidad a los cambios ambientales, debido a lo cual será necesario un mantenimiento casi constante de los parámetros básicos como la temperatura y pH.

Las dificultades en el manejo de estas delicadas bacterias explican que la investigación sistemática tanto de su morfología como de la bioquímica fisiológica sólo se halla iniciado hace cincuenta años. Hoy en día gracias a estudios muy recientes, podemos conocer mejor el mecanismo y funcionamiento de este complejo sistema microbiológico involucrado en la descomposición de la materia orgánica que la reduce a sus componentes básicos CH_4 y CO_2 (Márquez, 2008).

La digestión anaerobia está caracterizada por la existencia de varias fases consecutivas diferenciadas en el proceso de degradación del substrato (término genérico para designar, en general, el alimento de los microorganismos), interviniendo 5 grandes poblaciones de microorganismos. Estas poblaciones se caracterizan por estar compuestas por seres de

diferentes velocidades de crecimiento y diferente sensibilidad a cada compuesto intermedio como inhibidor; H₂, ácido acético o amoníaco producido de la acidogénesis de aminoácidos (Álvarez, 2012). Esto implica que cada etapa presentará diferentes velocidades de reacción según la composición del sustrato y que el desarrollo estable del proceso global requerirá de un equilibrio que evite la acumulación de compuestos intermedios inhibidores o la acumulación de Ácidos Grasos Volátiles (AGV), que podría producir una bajada del pH. Para la estabilidad del pH es importante el equilibrio CO₂-bicarbonato. Para hacer posible algunas reacciones es necesaria la asociación sintrófica entre bacterias acetogénicas y metanogénicas, creando agregados de bacterias de estas diferentes poblaciones (Lusk, 1998).

En la figura 5, se muestra la ruta metabólica de las fases de la biodigestión anaeróbica, así como el tipo de sustratos y productos de cada una hasta la obtención del metano.

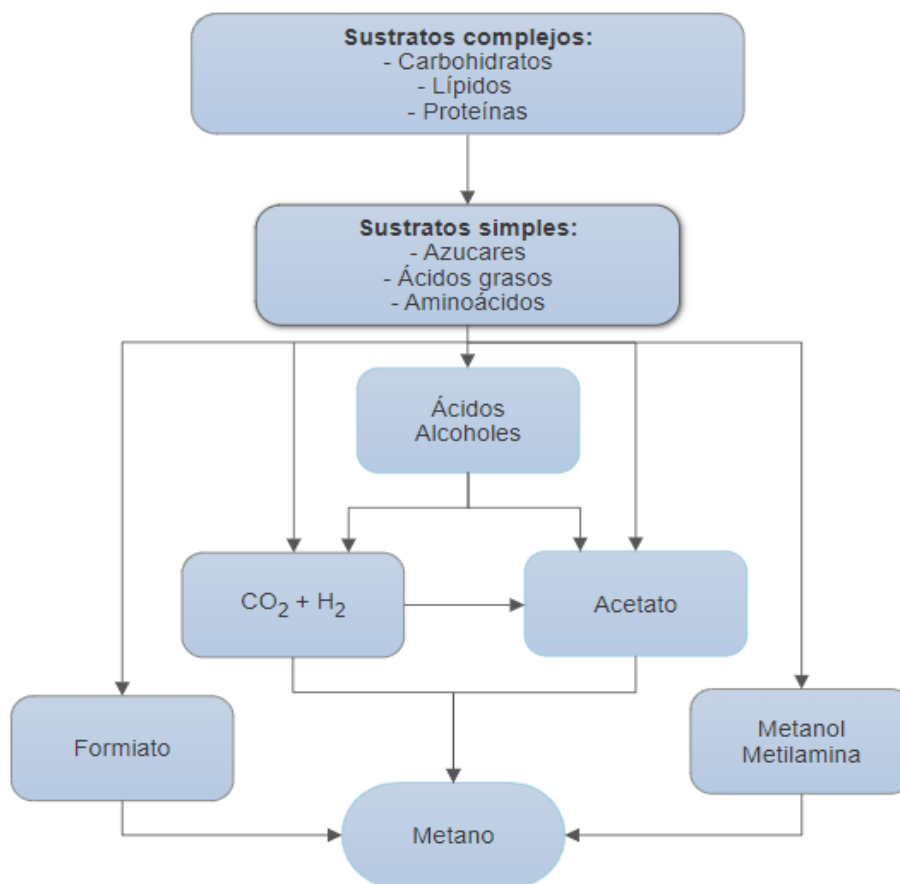


Figura 5. Fases de la digestión anaerobia.

Fuente: (Gerardi, *The microbiology of anaerobic digester*, 2003)

2.5.1 Descripción de las fases.

Las fases del proceso del biogás según Valencia Olivares (2009) se divide en los siguientes puntos.

- 1.- Materia orgánica compleja: Son todos los residuos orgánicos y biomasa, restos de comida, estiércol, hojas secas, papeles etc. Estos residuos están formados por moléculas complejas y grandes.
- 2.- Hidrólisis y fermentación: En la primera etapa esas moléculas grandes de materia orgánica son atacadas por un conjunto de bacterias y enzimas que las fraccionan en partes más chicas y solubles en presencia de oxígeno hasta agotarse.
- 3.- Fase ácida: Esas partes más pequeñas y solubles se combinan y en gran parte forman un ácido parecido al vinagre que se llama ácido acético.
- 4.- Fase metanogénica: Ese ácido del que hablábamos tiene una fórmula química CH_3COOH , y por acción de otras bacterias pierde un carbono y se generan una molécula de CO_2 y otra de CH_4 y es el principal componente del biogás. Un metro cúbico de biogás equivale a medio metro cúbico de gas natural, es decir, lo equivalente a 5 kW/h.
5. El proceso de la biodigestión dura unos 40 días aproximadamente involucrando las 2 fases que se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Características de las fases de fermentación y las bacterias que actúan.

Fase acidogénica	Fase metanogénica
Bacterias facultativas (pueden vivir en presencia de bajos contenidos de oxígeno).	Bacterias anaeróbicas estrictas (No pueden vivir en presencia de oxígeno).
Reproducción muy rápida (alta tasa reproductiva).	Reproducción lenta (baja tasa reproductiva).
Poco sensibles a los cambios de acidez y temperatura.	Muy sensibles a los cambios de acidez y temperatura.
Principales metabolitos, ácidos orgánicos.	Principales productos finales, CH_4 y CO_2

Fuente: (Gerardi, 2003)

2.6. Parámetros ambientales y operacionales.

Los parámetros ambientales necesarios de controlar hacen referencia a condiciones que deben mantenerse o asegurarse para el desarrollo del proceso. Estos son:

2.6.1. pH.

Este factor indica cómo se desenvuelve la fermentación. Se mide con un valor numérico llamado pH, que en este el valor neutro es 7. Cuando los valores superan el pH 8, esto indica una acumulación excesiva de compuesto alcalino. Y la carga corre riesgo de putrefacción.

Los valores inferiores a 6 indican una descompensación entre las fases ácidas y metanogénicas, pudiendo bloquearse esta última (Kaufmann, 2015). Hablar de pH equivale a tener idea de la acidez en mayor o menor grado que tenga el digestor.

El pH en un digestor en operación normal fluctúa entre 6.8 y 7.6 y es un excelente índice de que se mantiene el equilibrio requerido. Cualquier aumento de pH es generalmente índice de un exceso de amoníaco (NH_3), que es tóxico en el proceso. Cualquier disminución del pH implica un aumento en el contenido de los ácidos grasos volátiles (ácido acético, ácido propiónico, ácido butílico) creando un ambiente poco favorable para la vida de los microorganismos metanogénicos y por consiguiente una menor producción de biogás (Renovables, servicios ambientales y de energías, 2008).

Ambas situaciones, detectadas a tiempo, pueden solucionarse agregando un álcali (generalmente cal) o un ácido (generalmente H_2SO_4) respectivamente, según sea el caso (Renovables, servicios ambientales y de energías, 2008).

2.6.2. Nutrientes y relación carbono/nitrógeno.

La relación ideal de estos elementos con la materia prima a digerir es de 30:1, o sea 30 partes de carbono por 1 parte de nitrógeno. Esta relación puede llegar hasta 20:1 y considerarse adecuada. Prácticamente toda la materia orgánica es capaz de producir biogás al ser sometida a fermentación anaerobia y la cantidad y calidad del biogás producido dependerá de la composición del desecho utilizado (Corona, 2007).

El carbono y el nitrógeno son las fuentes principales de alimentación de las bacterias formadoras de metano; el carbono además de ser su constituyente básico es la fuente de energía y el nitrógeno contribuye a la formación de nuevas células. Si no existe suficiente nitrógeno para permitir que las bacterias se multipliquen, la velocidad de producción de este gas se verá limitada. Si, por el contrario, el nitrógeno se presenta en exceso se producirá más amoníaco del necesario y se inhibirá el proceso debido a que el exceso de amoníaco es tóxico (Corona, 2007).

2.6.3. Temperatura.

De acuerdo a FAO (2011), dentro de los parámetros ambientales de operación los rangos de temperatura se dividen en tres fases, teniendo como la fase más óptima para la producción de biogás es la termofílica, como lo menciona.

- **Digestión Psicofílica:** Es la digestión anaerobia que se realiza a temperaturas entre 10°C y 20°C. A estas temperaturas la carga debe permanecer en el digester más de 100 días.
- **Digestión Mesofílica:** Es la digestión anaerobia que se realiza a temperaturas entre 30°C y 35°C. La carga debe permanecer en el digester 15 a 40 días. Este tipo de proceso tiende a ser más confiable y tolerante que el proceso termofílico, pero la producción de gas es menor y se requieren digestores de gran tamaño.
- **Digestión Termofílica:** Es la digestión anaerobia que se realiza a temperaturas mayores de 55°C y el tiempo de residencia es debe ser de 12 a 14 días. Estos sistemas

ofrecen una producción de metano más alta, caudales más rápidos, mejor eliminación de patógenos y virus. Estos sistemas requieren tecnología más costosa, consumen más energía y requieren mayor asistencia y monitoreo.

2.7. Productos de la biodigestión.

2.7.1 Biogás.

Es una mezcla compuesta mayormente por metano y dióxido de carbono, de igual manera esta mezcla contiene ciertos tipos de impurezas. En la tabla siguiente se puede ver las propiedades que componen al biogás.

Tabla 4 Composición del biogás.

COMPONENTE	PORCENTAJE (%)
Metano	40-75
Dióxido de carbono	25-55
Vapor de agua	0-10
Nitrógeno	0-5
Oxígeno	0-2
Hidrógeno	0-1
Aminoácidos	0-1
Compuestos de azufre	0-1

Fuente: (FAO, 2011).

Si el CH₄ no es aprovechado es una gran pérdida de energía, en la actualidad se llevan a cabo proyectos para un correcto manejo de éste y así reducir las emisiones; existen la adicción a cierto tipos de alimentos para cambiar los hábitos alimenticios con respecto a los bovinos y cambiar también las características de sus derivados (Boadi, Massé, Benchaar, & Chiquette, 2004).

La obtención de biogás suministra una fuente de energía renovable, esto es gracias al CH₄, ya que puede ser utilizado como un suplente de combustibles fósiles de acuerdo a su producción de calor, energía eléctrica y también puede usarse como combustible para vehículos (Weiland, 2010). La Tabla 5 muestra las características del biogás.

Tabla 5 Características generales del biogás.

Composición	55 – 70% Metano (CH ₄) 30 – 45% dióxido de carbono (CO ₂) Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0 – 6.5 kW h m ⁻³
Equivalente de combustible	0.60 – 0.65 L petróleo/m ³ biogás
Límite de explosión	6 – 12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750°C (con el contenido de CH ₄ mencionado)
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-82.5°C
Densidad normal	1.2 kg m ⁻³
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 kg kmol ⁻¹

Fuente: (Deublein D., 2008)

El biogás ocupa el tercer lugar de las fuentes que generan electricidad. En el 2010 la electricidad que se generó gracias al biogás fue de 43.6 TWh a nivel mundial. El país que aprovechó más esta fuente fue Alemania con 16.2 TWh, Estados Unidos es el segundo país con el 9.8 TWh, seguido de Reino Unido con el 5.7 TWh y por último en el cuarto lugar es Italia con 2.0 TWh.

Estados Unidos capturan la mayor cantidad de Metano por sus rellenos sanitarios, y estos produjeron 14.3 TWh de electricidad, por el contrario las actividades ganaderas generaron más de 0.5 TWh de electricidad, estos datos fueron capturados durante el mismo año, siendo este el 2011 (SENER, 2012).

Dentro de los inhibidores de la producción de biogás se encuentra en amonio libre por formación natural, sin embargo, uno de los agentes introducidos durante la limpieza de los equipos es el sulfonato linear del alquilbenceno para reducir la producción del amonio (García *et al.*, 2006).

De acuerdo a los datos analizados por la Investigación de Base de Datos de Emisiones Atmosféricas Globales (EDGAR por sus siglas en inglés) en norte de California en Estados Unidos contribuye un 30% en las emisiones de metano a partir de fuentes naturales como la ganadería, tratamiento de residuos, humedales, entre otros (Johnson *et al.*, 2014).

2.7.2 Almacenamiento del biogás

El biogás se almacena en unos depósitos que llevan por nombre Gasómetros, existen distintos tipos de estos tanques de acuerdo a su presión, algunos de éstos son los gasómetros de baja presión que son los de cúpula o campana flotantes. La ventaja es que este tipo de depósito, alcanza almacenar una cantidad importante, pero sin rebasar los 1500 m³, su presión viene siendo menos de 50 mbar. Los tanques de gas de media y alta presión cuya presión es de 8-10 bar con compresión de una sola etapa, estos tanques no almacenan un gas en especial. Si la presión rebasa los 10 bar, se necesita compresores de más etapas (Montes Carmona, 2008).

2.7.3 Uso del biogás

El biogás se puede utilizar en distintos equipos creados para funcionar con el gas natural (Figura 6), gracias a que contiene metano en gran cantidad hace que sea una fuente de energía, ésta se puede ocupar en el área de generación de vapor (hornos, calderas, etc.) y energía eléctrica (Núñez, 2006).

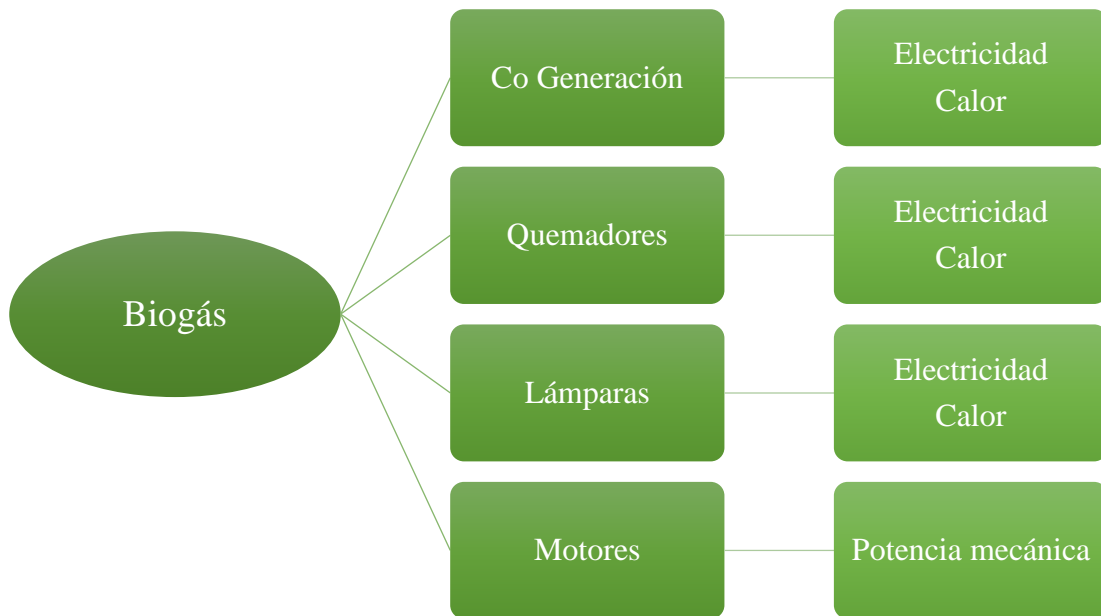


Figura 6. Principales usos del biogás.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Localización de proyecto.

Este proyecto se realizó en áreas aledañas al departamento de Ingeniería Ambiental del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, ubicado en el Municipio de Misantla, Veracruz; en las coordenadas 19° 57' 3.344" latitud norte y 96° 50' 38.44" longitud oeste (Figura 7).

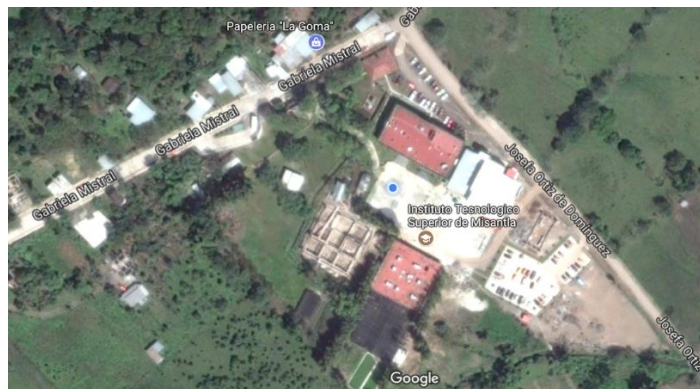


Figura 7. Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

El clima de Misantla es cálido-húmedo con una temperatura de 22.7 °C. Su precipitación pluvial media anual es de 2,036.4 mm. Tiene una superficie de 537.94 km²; cifra que representa un 0.72 % total del estado. Es uno de los 212 municipios de la entidad y tiene su ubicación en la región montañosa de la zona centro del estado. Está situado a una altura de 400 metros sobre el nivel del mar.

3.2 Evaluación de las tecnologías de biodigestores.

Para llevar a cabo la elección de que biodigestor ocupar, se tomó en cuenta la siguiente tabla que ilustra tres tipos de biodigestores y algunas de sus características principales.

Tabla 6. Tecnologías de digestión anaeróbica.

Características	Laguna cubierta	Completamente mezclado	Película fija
Contenedor de digestión	Laguna profunda	Tanque redondeado/cuadrado sobre el terreno	Tanque sobre el terreno
Nivel de tecnología	Bajo	Medio	Medio
Sólidos totales	0.5 - 3%	3 - 10%	3%
Características de los sólidos	Fina	Gruesa	Muy fina
TRH* (días)	40 a 60	15+	2 a 3
Localización óptima	Clima templado y cálido	Todos los climas	Clima templado y cálido

Fuente: (Zúñiga Ávila *et al.*, 2012)

En este caso, se escogió el biodigestor completamente mezclado, aunque se puede notar en la tabla algunos aspectos favorables en el de película fija, se tomó en cuenta las características de los sólidos, ya que de donde se recolectaron los residuos ganaderos se encontraron mezclados, posteriormente fueron depositados en el biodigestor.

Otro aspecto importante que se tomó en cuenta para poder seleccionar el biodigestor antes mencionado fue la localización óptima, la cual depende de las condiciones climáticas. El biodigestor de mezcla completa reporta óptimos desempeños de producción de biogás en climas variables como los de la región.

3.3 Acondicionamiento de los biodigestores.

Para acondicionar los biodigestores se realizó primero un lavado de las cubetas, junto con sus tapas (Figura 8), esto fue porque los recipientes ya habían tenido un uso similar anteriormente. Después de que se limpiaron las cubetas, se realizó una marca del volumen a ocupar (13 Lt) utilizando agua, la cual posteriormente fue desechada (Figura 9).



Figura 8. Lavado de los biodigestores.



Figura 9. Marcaje del volumen.

Ya teniendo secos los biodigestores se acoplo el almacenamiento del gas, siendo asegurado con cinta para evitar fugas futuras (Figura 10).



Figura 10. Acondicionamiento del almacenamiento.

3.4 Cálculo de la proporción de residuos a los biodigestores.

Después de haber llevado a cabo el lavado de los biodigestores, se realizó la estimación de las cantidades a ingresar de cada residuo ganadero (sangre, rumen y estiércol), haciendo las diluciones proporcionales de agua y estiércol, siendo la sangre y el rumen complementos para aprovechar todos los residuos generados en el rastro municipal.

Los biodigestores son de una capacidad de 15 litros en total, pero se llenaron hasta los 13 Lt, esa cantidad fue que se hicieron los cálculos de diluciones obteniendo (tabla 7).

Tabla 7. Proporción de las diluciones en los biodigestores.

	Agua (L)	Sangre (L)	Rumen (L)	Estiércol (L)	Total litros
2 a 1	7.2	1.8	0.4	3.6	13
1 a 1	5.7	1.4	0.2	5.7	13
1 a 0	10	2.5	0.5	0	13

3.5 Recolección de la materia prima.

La recolección de los residuos ganaderos se realizó en el rastro municipal que se encuentra en las afueras de la ciudad, justo en la carretera Misantla-Martínez de la Torre, nos presentamos a la 1:30 am ya que a esa hora llegan los encargados de la matanza del ganado vacuno.

Cuando se comenzó a matar a la primera vaca se llenó una cubeta de sangre fresca, a la cual se le introdujo la mano para realizar una mezcla uniforme (Figura 11), ya que sin la agitación se le forman coágulos y eso afectaría a nuestros biodigestores.



Figura 11. Extirpación de coágulos.

Posteriormente, se fue a otra área del rastro donde les extirpan los estómagos a las vacas para poder eliminar el contenido ruminal, fue ahí donde se aprovechó para recolectarlo. A pesar de que se necesitaba el rumen de manera sólida se le extrajo el jugo ruminal, para así lograr hacer las diluciones correctas en los biodigestores (Figura 12).



Figura 12. Extracción de jugo ruminal.

El último componente de la materia prima es el estiércol, la recolección se llevó a cabo en los corrales del rastro, ubicados en la parte trasera obteniendo un volumen de 30 Lt (Figura 13).



Figura 13. Recolección de estiércol.

3.6 Llenado y sellado de los biodigestores.

Ya obtenida la materia prima necesaria, teniendo en cuenta que ya se tienen los cálculos necesarios para saber la cantidad a introducir dentro de los tres biodigestores y sus respectivas repeticiones se hace el llenado de cada una de ellas, lo anterior con ayuda de un vaso de precipitado de 1000 mL (Figura 14).



Figura 14. Llenado de los biodigestores.

Después de realizar el llenado de los seis biodigestores, se sellaron con cinta adhesiva para evitar fugas en la parte superior (Figura 15). De igual manera, ya terminado lo anterior, se depositaron en una pequeña construcción, para así con la ayuda de las paredes los biodigestores mantuvieran una temperatura constante.



Figura 15. Sellado de los biodigestores.

3.7 Evaluación de la producción de biogás.

Para llevar a cabo la evaluación de la producción de biogás se usó una probeta de 1000 mL, una cubeta de 20 L, una manguera de hule y un encendedor, como se muestra en la figura 16.



Figura 16. Método de campana flotante.

Se midió el biogás producido por 34 días con el método de campana flotante improvisado con los materiales anteriormente mencionados, después de extraer el biogás en un extremo de la manguera se encendía un dispositivo para evaluar la presencia de biogás.



Figura 17. Prueba de flama.

En la figura 17, se muestra el método de la campana flotante donde se observa que se improvisó usando una probeta de un litro, junto con ella una manguera de hule que se ocupa para el mechero bunsen, aquí la cual se conectó a la salida de la lleva del gas que tiene el biodigestor en la parte de arriba y el otro extremo fue introducido en la probeta que se encuentra llena de agua, así cuando es abierta la lleva de la salida del gas este se acumula en la parte inferior de la probeta para así luego ser medido el biogás.

En la flama del encendedor se notaba si lo que estábamos quemando era metano, o seguíamos sin producirlo.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Medición de biogás.

Se realizó la medición de biogás mediante el método descrito durante los 34 días de duración del experimento, con los cuales se creó la tabla 8, donde se registraron todos los datos obtenidos diariamente, la medición se llevó a cabo desde el 5 de marzo hasta el 9 de abril del 2018.

Tabla 8. Producción de biogás diaria.

PRODUCCIÓN DE BIOGAS (mL/DÍA)						
Fecha	2 a 1	1 a 1	1 a 0	2 a 1 R	1 a 1 R	1 a 0 R
05/03/2018	1000	350	190	1620	30	100
06/03/2018	730	320	450	1535	140	405
07/03/2018	885	405	240	885	170	50
08/03/2018	330	400	390	740	0	220
09/03/2018	1140	210	190	960	210	230
10/03/2018	1040	290	180	900	190	210
11/03/2018	1650	980	295	1575	1540	325
12/03/2018	1650	980	295	1575	1540	325
13/03/2018	300	150	100	200	300	100
14/03/2018	320	850	360	725	1080	275
15/03/2018	570	330	370	620	550	440
16/03/2018	670	1030	400	790	1030	690
17/03/2018	415.8	147	212.1	359.1	193.2	170.1
18/03/2018	180	412.5	1137.5	1365	910	200
19/03/2018	222	444	111	999	1221	74
20/03/2018	90	80	124.1	119	136	323
21/03/2018	80	50	1010	1710	920	810
22/03/2018	86	198	546	655	437	96
23/03/2018	101	231	637	764	510	112
24/03/2018	194	446	1229	1474	983	216
25/03/2018	173	396	1092	1310	874	192
26/03/2018	166	380	1047	1256	837	184
27/03/2018	210	420	105	945	1155	70
28/03/2018	222	444	111	999	1221	74
29/03/2018	168	336	84	756	924	56
30/03/2018	130	99	95	91	104	247

31/03/2018	110	84	80	77	88	209
01/04/2018	150	114	110	105	120	285
02/04/2018	180	137	131	126	144	342
03/04/2018	190	144	139	133	152	361
04/04/2018	140	106	102	98	112	266
05/04/2018	100	76	73	70	80	190
06/04/2018	379	158	134	151	158	158
07/04/2018	490	205	174	195	205	205
08/04/2018	348	145	123	139	145	145
09/04/2018	363	152	129	145	152	152

Se graficaron los datos de la tabla 8, para poder visualizar las tendencias de la producción del biogás de los biodigestores (figura 17).

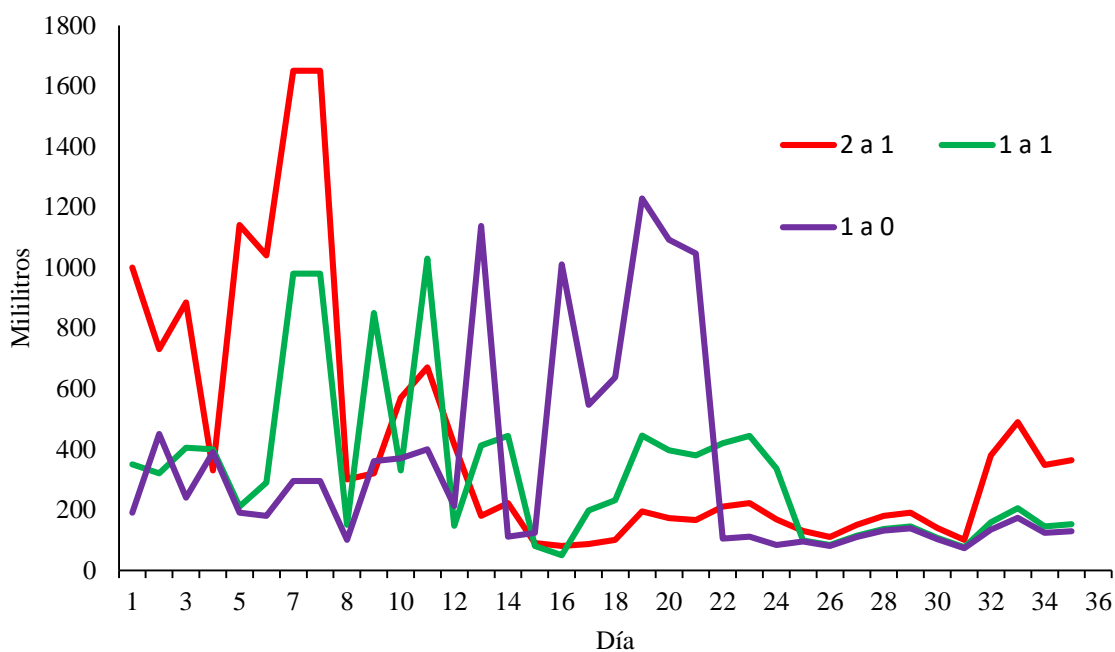


Figura 18. Producción de biogás.

Es de notar que en la dilución 2 a 1 se obtuvo una producción de biogás al principio del experimento, contrastando con las otros; donde la dilución 1 a 1 su producción de biogás se vio mayormente en la mitad del experimento y con la dilución 1 a 0 se produjo más cantidad de biogás al final.

Cabe mencionar, que el proceso de hidrólisis depende de diferentes factores como lo son: la temperatura del proceso, del tiempo de retención hidráulico, de la composición bioquímica del sustrato (porcentaje de lignina, carbohidratos, proteínas y grasas), del tamaño de partículas, del nivel de pH, de la concentración de NH_4^+ y de la concentración de los productos de la hidrólisis (FAO, 2011), de acuerdo a lo anterior se atribuye que la producción de biogás de la dilución 2:1 fue mayor por el contenido de estiércol, lo cual le aporó mayor cantidad de nitrógeno en comparación de la dilución 1:0 la cual no contenía estiércol.

De igual manera se realizó una gráfica de la producción de biogás en las repeticiones de los biodigestores (figura 18). En ellos se nota una gran variación de valores del biogás.

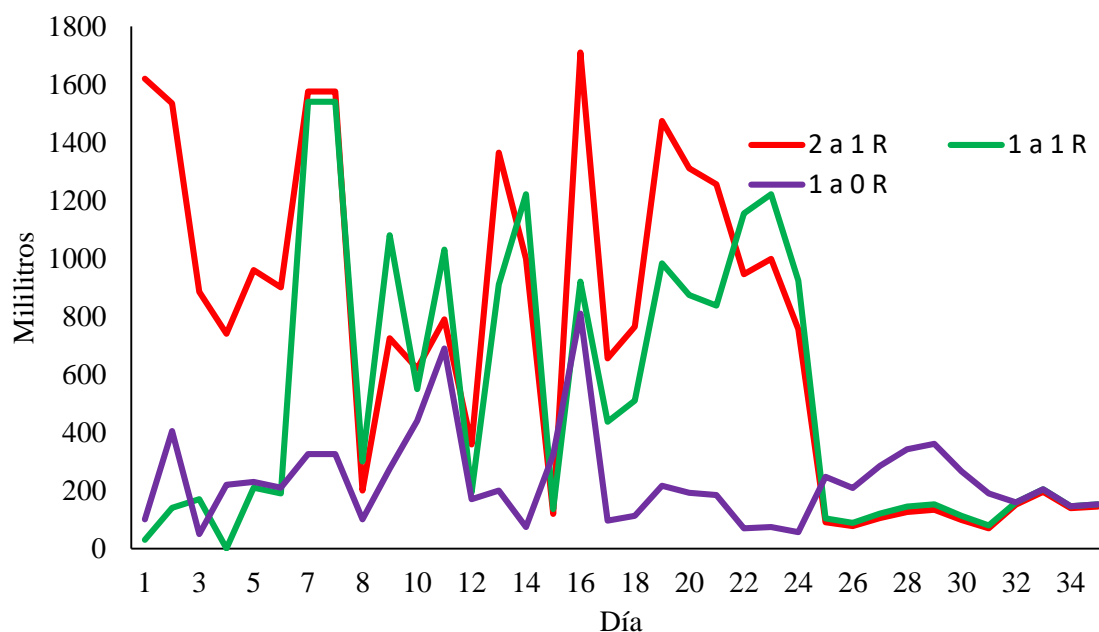


Figura 19. Producción de biogás de las repeticiones.

Como se puede observar en la figura 20 el comportamiento de la producción de biogás se vio mayormente favorecido en la repetición de la dilución 2:1, este comportamiento se puede atribuir a que las bacterias metanogénicas se comportaron de mejor manera en dicha dilución, ya que como menciona Avila-Hernández *et al.*, (2018) las bacterias metanogénicas convierten el H_2 , CO_2 , compuestos monocarbonados como el metanol, monóxido de carbono y metilamina para ser transformados en metano. Con lo anterior podemos decir que a lo largo del proceso de producción de biogás en las diluciones 1:1 y 1:0 la actividad metanogénica no se llevó de manera adecuada.

4.2 Comparación de producción de biogás.

Ya teniendo los valores de los biodigestores principales y las respectivas repeticiones, se realizó una comparación de estos. Como se muestra en la siguiente figura, los biodigestores principales y sus repeticiones tienen el mismo color de línea para que así se notaran visualmente.

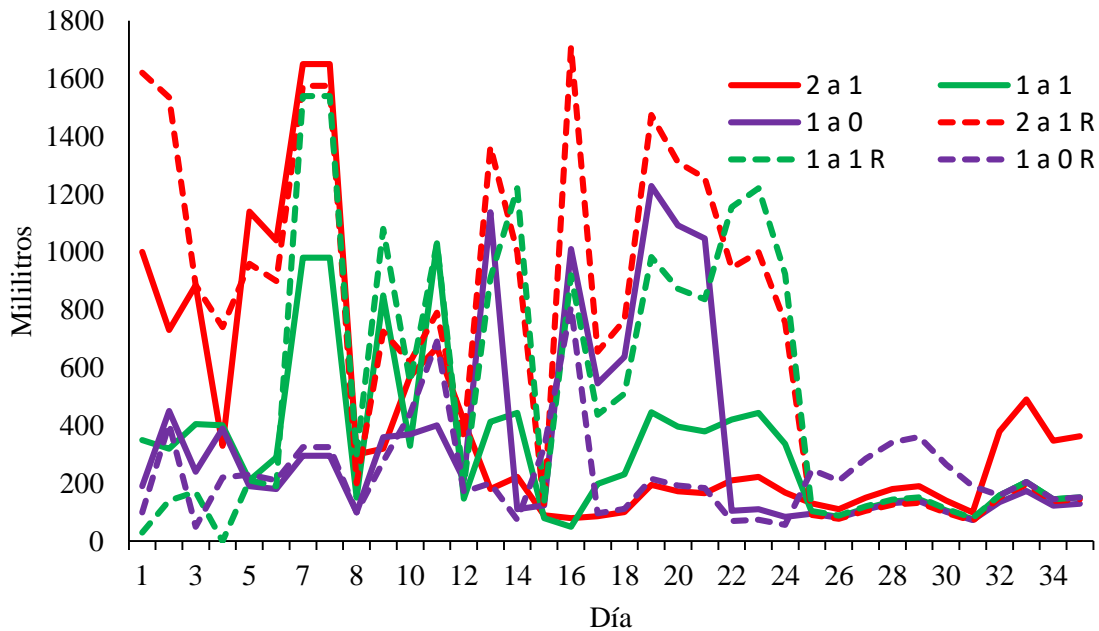


Figura 20. Producción de biogás de los seis biodigestores.

Los comportamientos que se observan en la gráfica de la figura 21, muestran que la mayor producción de biogás se presentó en las repeticiones de las diluciones a excepción de la dilución 1:0 la cual presentó fuga por lo que no se pudo evaluar de manera óptima la producción en esta repetición. En diversos trabajos realizados sobre la digestión termofílica en lugares templados se llega a requerir considerables cantidades de energía para calentar los residuos hasta 55°C (Iglesia *et al.*, 2016), aunado a esto podemos decir que las repeticiones tuvieron mayor producción de biogás debido a que se encontraban expuestas mayormente a la radiación solar lo cual favoreció alcanzar las temperaturas óptimas en el proceso de biodegradación.

4.3 Producción de biogás total.

La producción de biogás total que se generó fue convertida a litros, ya que se midió en mililitros. se hizo una suma de todos los días que se midió el biogás para poder obtener la producción total de cada biodigestor, y esto se ilustra en la siguiente gráfica de barras.

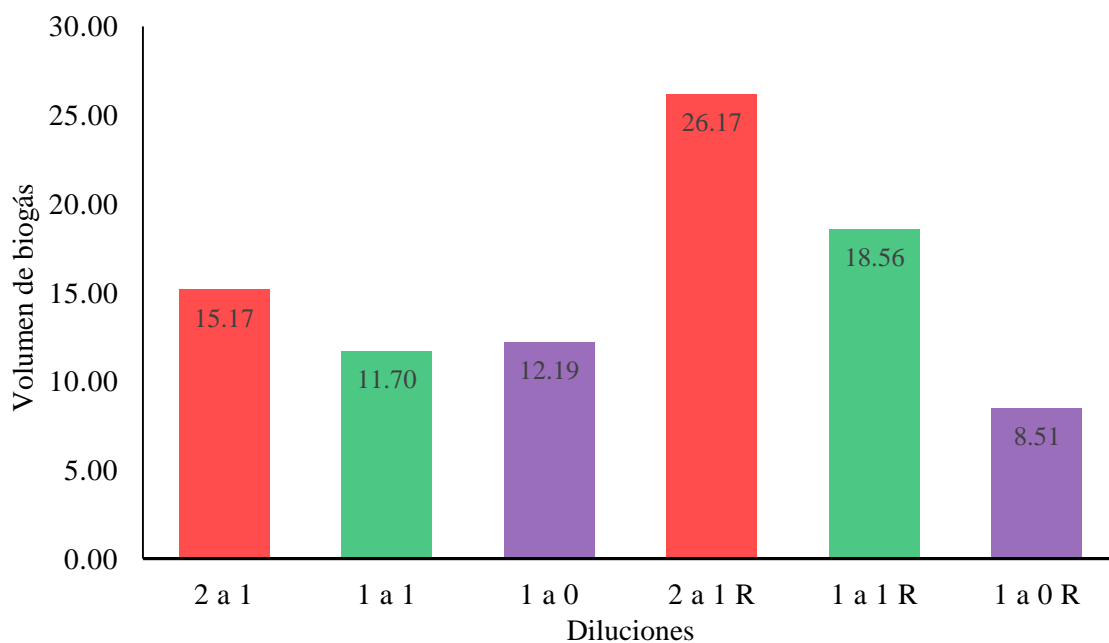


Figura 21. Biogás total.

En la figura 22, se observa que la mayor producción de biogás total se presentó en las diluciones 2:1 y 1:1. La baja producción de bogas que se presentó en la dilución 1:0 se le atribuye a la composición de nutrientes que se presentaban ya que al presentar mayor dilución limito a los microorganismos, a las fuentes de carbono, nitrógeno y fosforo, estos nutrientes son esenciales para el crecimiento de los microorganismos por lo que los niveles deben de estar por encima de la concentración óptima para las metanobacterias, ya que estas se inhiben severamente por la falta de nutrientes.

4.4 Medición de temperatura.

La temperatura es un parámetro importante a medir en el funcionamiento de los biodigestores, es por eso que de igual manera se hizo una medición de esta diariamente.

Se midió la temperatura gracias a la estación meteorológica de la carrera de Ingeniería ambiental, que se localiza en la parte superior del edificio principal. Ya que este artefacto mida la temperatura cada treinta minutos, se sacó el promedio de cada día para poder ilustrarlo en la siguiente gráfica.

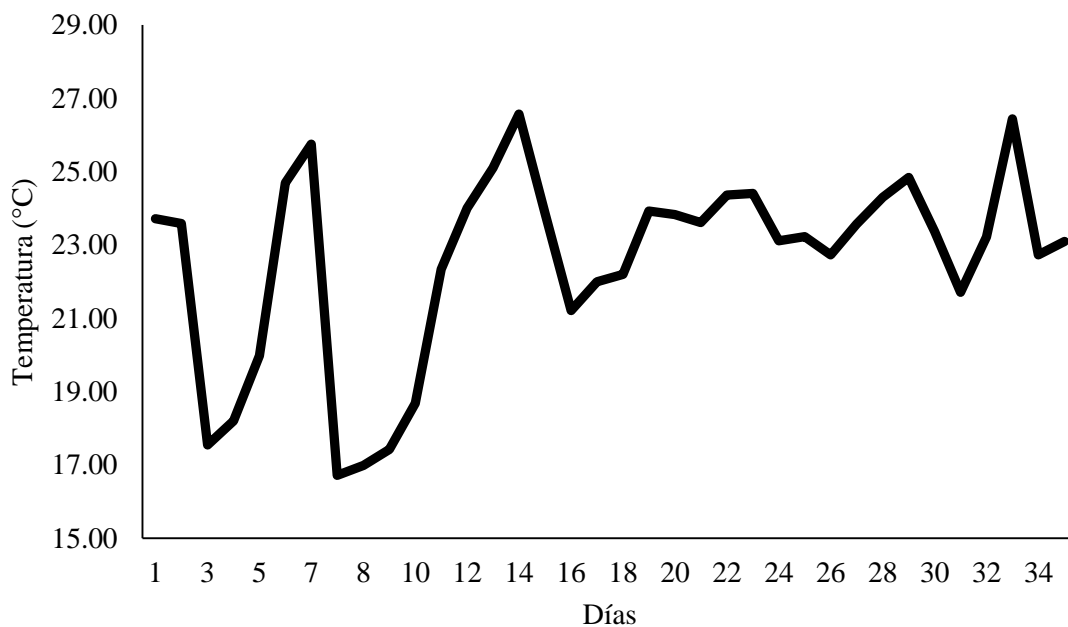


Figura 22. Temperatura promedio de cada día.

En la figura 23, notamos que la temperatura cálida y en equilibrio a partir del día 21 los biodigestores ya no presentaron respuestas positivas en la producción. De acuerdo a Barrera-Cardoso *et al.*, (2018) existen tres rangos de temperatura para la digestión de residuos en un biodigestor, el primero es el mesofílico con rangos de temperatura de 20-45°C, el segundo es el termofílico con temperaturas por arriba de los 45°C y el tercero es de maduración en el cual desciende la temperatura por debajo de los 45°C hasta temperatura ambiente, la temperatura óptima durante el proceso de la producción de biogás es de 35-55°C. Con lo anterior podemos decir que la temperatura a partir del día 21 no favoreció para que los 3

rangos se presentaran de manera adecuada, ya que como se muestra en dicha figura la temperatura ambiente estuvo por debajo de los 27°C trayendo consigo una disminución en la producción de biogás.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES.

Después de haber analizado los resultados de la fase experimental del proyecto, se llegaron a las siguientes conclusiones:

- No se obtuvo la producción de biogás esperada debido a problemas de inhibición por el alto contenido de sangre.
- La dilución que generó la mayor cantidad de biogás fue la de dilución 2:1, en la cual se obtuvo un total de 20.67 litros en la duración del experimento.
- La mezcla con mayor contenido de sangre fue la que menor gas produjo, es por ello que no es bueno colocar tales cantidades en el biodigestor.
- En base a la conclusión pasada podemos afirmar que la sangre actúa como inhibidor a concentraciones altas.
- Para mayor producción de biogás es necesario tener una radiación solar directa a los biodigestores, ya que si se llega a presentar una sombra disminuye la temperatura, esto nos da una producción menor de biogás.

CAPITULO VI. RECOMENDACIONES.

Como recomendación se toma en cuenta los siguientes puntos:

- Disminuir la concentración de sangre en el proceso de la digestión anaerobia ya que como se menciona anteriormente la sangre actúa como inhibidor en el proceso de producción de biogás.
- Posicionar de mejor forma los biodigestores para que operen bajo las mismas condiciones ambientales y eso no afecte la variación en los tratamientos.
- Monitorear la temperatura y pH dentro del biodigestor para monitorear su comportamiento ya que son factores ambientales de suma importancia para la actividad microbiana en el proceso de digestión.

CAPÍTULO VII. BIBLIOGRAFÍA

- Aguayo, D., Velazquez, N., & Ojeda, S. (2009). DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO SOLAR Y ACOPLAMIENTO A UN DIGESTOR ANAEROBICO. *II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos* (pág. 15). Barranquilla: REDISA.
- Alvarez A., R. (2012). *Investigación de biogás en Bolivia*. San Andres: IIDEPROQ.
- Ávila-Hernández,, M., Campos-Rodríguez, R., Brenes-Peralta, L., & Jiménez-Morales, M. F. (2018). Generación de biogás a partir del aprovechamiento de residuos sólidos biodegradables en el Tecnológico de Costa Rica, sede Cartago. *Revista Tecnología en Marcha.*, 159-170.
- Barrera-Cardoso, E. L., Carabeo-Pérez, A., Odales-Bernal, L., Contreras-Velázquez, L. M., & López-González, L. (2018). Sistematización de aspectos teóricos sobre las tecnologías de producción de biogás a escala industrial. *Tecnología Química.*, 29-45.
- Boadi, D., Massé, D., Benchaar, C., & Chiquette, J. (2004). *Mitigation strategies to reduce enteric methane emissions from dairy cows: Update review*. Canada: Agriculture and Agri-Food Canada.
- Cohen, J. E. (1995). *How many people can the Earth support?* Nueva York: Norton.
- Deublein D., S. A. (2008). *Biogas from waste and renewable resources: An introduction*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co KGaA.
- Domínguez, P. L., & Ly, J. (2000). Biodigestores como componentes de sistemas agropecuarios integrados. *Instituto de Investigaciones Porcinas.*, 5-8.
- Duarte, C. M. (2007). *Cambio global. Impacto de la actividad humana*.
- Ediciones imprenta CUJAE. (2001). Estado del arte sobre el tratamiento biológico para los residuales de Punta Periquillo II. Digestión Anaerobia. *Ingeniería hidráulica y ambiental.*, 34-38.
- El portal del cerdo. (9 de Abril de 2008). *Universo porcino*. Obtenido de http://www.aacporcinos.com.ar/articulos/que_es_un_biodigestor.html
- FAO. (2011). *Manual de Biogas*. (P. CHI/00/G32, Ed.) Santiago, Chile: FAO 2011.
- Garcia, M. T., Campos, E., Dalmau, M., Illán, P., & Sanchez Leal, J. (2006). Inhibition of Biogas Production by Alkyl Benzene Sulfonates (LAS) in a Screening Test for Anaerobic Biodegradability. En M. T. Garcia, E. Campos, M. Dalmau, P. Illán, & J. Sanchez Leal, *Biodegradation* (págs. 39-46). Barcelona, Spain: Springer.
- Gerardi, M. H. (2003). *The Microbiology of Anaerobic Digesters*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., de Haan, C., & Steinfeld, H. (29 de Noviembre de 2006). *Livestock's long shadow environmental issues and options*.

- González Estrada, D. (Junio de 2011). Diseño y fabricación de un prototipo para la obtención de biogás.
- Guevara, A. (1996). Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores. Lima, Peru: CEPIS.
- IDEHU y CEBiot. (30 de junio de 2012). Proyecto piloto de biogás en el rastro municipal de Juigalpa, Chontales, Nicaragua. 8-9.
- Iglesia, J. A., Caballero, A. M., & Romero, E. J. (2016). Metodología para obtención de biogás a partir de residuos de cosechas del arroz utilizando como inóculo aguas residuales. *Avances.*, 325-333.
- INEGI. (2011). *Perspectiva estadística México*. México: INEGI.
- Johnson, M., Yates, E., Iraci, L., Loewenstein, M., Tadic, J., Jeong, S., . . . Fischer, M. (2014). Analyzing source apportioned methane in northern California during Discover-AQ-CA using airborne measurements and model simulation. *Elsevier*, 248-256.
- Kaufmann, T. (2015). Sustainable livestock production: Low emission farm. *Animal Nutrition*, 104-112.
- Lorenzo Acosta, Y., & Obaya Abreu, M. C. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar.*, 35-48.
- Marquez Mendoza, F. (26 de Junio de 2008). Biogas su aprovechamiento y Generación de Electricidad. *Tecnología: Su evolucion y Aplicaciones*. México, México, México.
- Martina, P., Yank, L., Corace, J., Bucki Wasserman, B., Aeberhard, R., & Ventín, A. (2005). Estudio de la producción de biogás en función de la cantidad de residuos de madera de un biodigestor del tipo de carga única o Batch. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*.
- Montes Carmona, M. E. (2008). *Estudio técnico-económico de la digestión anaerobia conjunta de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y lodos de depuradora para la obtención de biogás*.
- Moreira, T., & Eyner, E. (2013). Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención ed biogás a partir del estiércol de ganado en el rancho Verónica.
- Narvaez Guevara, Y., & Saltos Paz, A. (2007). *Diseño, construcción y puesta en marcha de un biodigestor tipo piloto para la obtención de biogás y bioabono a partir de la mezcla de estiercol vacuno y suero de queso*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil Facultad de Ingeniería Química.
- Núñez Naranjo, A. M. (2006). *Estudio de factibilidad para la generación de energía a partir del biogás producido en una planta de tratamiento de aguas residuales*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Ongley, E. (1997). Lucha de la contaminación agrícola de los recursos hídricos. *Estudio FAO riego y drenaje-55*, capítulo 3.

- Renovables, servicios ambientales y de energías. (2008). *Proyección de Energías Renovables en México*. México.
- Rock, C., & Rivera, B. (2014). La calidad del agua, E. Coli y su salud. *College of agriculture and life sciences*, 1-2.
- Roos, E., Bajzelj, B., Smith, P., Patel, M., Little, D., & Garnett, T. (2017). Greedy or needy? Land use and climate impacts of food in 2050 under different livestock futures. *Elsevier*, 1-12.
- Salazar, G. (1993). *Los digestores: Una alternativa energética en la porcicultura y un medio para evitar la contaminación*. Campo Experimental Centro de Jalisco. Guadalajara, Jalisco, México.: ARH-INIFAP-CIPAC.
- Salazar, J. L., Amusquivar, C., Llave, J. J., & Rivasplata, C. (2012). Producción de biogás y biol a partir de excretas de ganado: experiencias en la ciudad de Tacna. 2.
- Salvador Alejos, M. M., & Sánchez Zapata, Z. d. (2015). *Evaluación de biogás y biol en un biodigestor tipo Batch utilizando residuos de trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss) tratados con B-LAC*. Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina.
- SENER. (2012). *Prospectivas de energía renovables 2012-2026*. México.
- SIAP/SAGARPA. (2017). *Avance mensual de la producción pecuaria*. México: SIAP.
- Soria Fregoso, M. d., Ferrera Cerrato, R., Etchevers Barra, J., Alcántar González, G., Trinidad Santos, J., Borges Gómez, L., & Pereyda Pérez, G. (2001). *PRODUCCION DE BIOFERTILIZANTES MEDIANTE BIODIGESTION DE EXCRETA LIQUIDA DE CERDO*. Chapingo, México.: Terra Latinoamericana.
- Valencia Olivares, C. (09 de Junio de 2009). Centro de investigaciones en ecosistemas. "Un análisis y propuesta del manejo de Biodigestores". México, Mexico, Mexico.
- Washington state department of health. (Julio de 2016). Nitratos en el agua potable. 1-2.
- Weiland, P. (2010). *Biogas production: current state and perspectives*. Brunswick: Springer Berlin Heidelberg.
- Zuñiga Avila, G., Sáenz Solis, J. I., Guerrero Morales, S., Segovia Lerma, A., Morales Morales, H. A., & Rivas Lucero, B. A. (2012). PERSPECTIVAS DE OBTENCIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE DE LA BIOMASA DEL ESTIÉRCOL DEL GANADO LECHERO EN LA REGIÓN CENTRO-SUR DE CHIHUAHUA. *Revista Mexicana de Agronegocios.*, 872-885.