



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

Facultad Regional Multidisciplinaria, FAREM-Estelí

**Generación de biogás a base del sustrato porcino mediante el proceso de
digestión anaerobia en la Finca las Palmas del Municipio de San Juan de Rio
Coco**

Trabajo monográfico para optar

Al grado de

Ingeniero en Energías Renovables

Autores

Br. Darwin Emisael González López

Br. Angel Darine Rugama Gutiérrez

Tutor

MSc. José Antonio Castillo Hernández

Estelí, 25 de agosto 2021



Dedicatoria

Nunca dejes que otras personas te digan que no puedes hacer algo, sin ni siquiera intentarlo.
(Anónimo)

Primeramente, a Dios por habernos permitido llegar a este punto y habernos dado salud y lo necesario para seguir adelante día a día para lograr nuestros objetivos además de su infinita bondad y amor.

A nuestras madres por ser las personas que nos han acompañado durante todo nuestro trayecto estudiantil y de vida.

A nuestros padres quien con sus consejos han sabido guiarnos para culminar nuestras carreras profesionales

A nuestras familias en general, porque nos han brindado su apoyo incondicional y por compartir con nosotros buenos y malos momento.

Agradecimientos

El presente trabajo de tesis primeramente agradezco a ti Dios por bendecirnos para llegar hasta donde hemos llegado, porque hiciste realidad nuestro sueño anhelado.

A nuestra alma mater FAREM-ESTELI por habernos permitido ser parte de ella y darnos la oportunidad de realizarnos como profesional durante estos años,

A nuestro tutor MSc. José Antonio Castillo Hernández por su esfuerzo y dedicación, quien, con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado que podamos terminar nuestros estudios con éxito.

También agradecer a nuestros profesores que durante toda nuestra carrera profesional han aportado con un granito de arena en nuestra formación y en especial al profesor MSc Juan Alberto Betanco por su enseñanza y por la ayuda brindada que no ha dado en este proceso de estudiante y por ayudarnos a culminar nuestra tesis.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN MANAGUA

FACULTAD REGIONAL MULTIDISCIPLINARIA, ESTELÍ
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS TECNOLÓGICAS Y SALUD

“2022: Vamos por más Victorias Educativas”

Estelí, 9 de mayo 2022

CONSTANCIA

La Monografía es el resultado de un proceso académico investigativo llevado a cabo por estudiantes como forma de culminación de estudios. El propósito es resolver un problema vinculando la teoría con la práctica, potenciando las capacidades, habilidades y destrezas investigativas, y contribuye a la formación del profesional que demanda el desarrollo económico, político y social del país. (Art.13 del reglamento de régimen académico estudiantil. Modalidades de graduación).

Por tanto, hago constar que el trabajo **“Generación de biogás a base del sustrato porcino mediante el proceso de digestión anaerobia en la Finca Las Palmas del Municipio de San Juan de Rio Coco”**, cumple con los requisitos académicos requeridos para una Monografía, y ha sido presentado, defendido y corregido a satisfacción del tutor, con lo cual está optando al título de **Ingeniería En Energías Renovables**.

Los autores de este estudio es el bachiller: **Darwin Emisael González López, Ángel Darine Rugama Gutiérrez**, quienes, durante la ejecución de esta investigación, demostraron responsabilidad, ética y conocimiento sobre la temática.

Así mismo este estudio consistió en la producción de biogás por el método de digestión anaerobia a base de sustrato porcino en la Finca las Palmas del Municipio de “San Juan de Rio Coco” tiene un gran potencial para la producción del mismo, ya que cuenta con una cantidad considerable de ganado porcino

SMc. José Antonio Castillo Hernández

FAREM-Estelí, UNAN-Managua

Cc/Archivo

A la libertad por la Universidad!

Barrio 14 de abril, contiguo a la subestación de ENEL, Tel 27137734, Ext 7430

Cod. Postal 49 - Estelí, Nicaragua

dctys@unan.edu.ni | www.farem.unan.edu.ni

Resumen

El presente trabajo investigativo tuvo como propósito desarrollar la evaluación de un estudio de producción de biogás por medio del proceso de digestión anaerobia a partir del aprovechamiento y caracterización del sustrato porcino. El presente estudio se rige por el enfoque filosófico de acuerdo al método de investigación el presente estudio es experimental y según el nivel de profundidad del conocimiento es descriptivo, de acuerdo a la clasificación del tipo de estudio es correlacional. De acuerdo, al tiempo de ocurrencia de los hechos y registro de la información, el estudio es prospectivo, por el período y secuencia del estudio es transversal. Los instrumentos utilizados fueron: hornos eléctricos, balanzas analíticas, termómetros, pH metros. Los resultados demuestran que el sustrato porcino estuvo compuesto en su mayor parte de humedad con un 62.73% y una pequeña parte correspondió a los sólidos totales con un 37.27%. La media de pH estuvo en su rango óptimo entre 6 y 8 y la temperatura obtenida estuvo en el rango Mesofílico entre 25 y 45 °C lo cual indica que el biodigestor estaba operando con parámetros correctos. La investigación se concluye de manera satisfactoria ya que con las cantidades de estiércol porcino producido en la granja se tiene la capacidad de llevar a cabo la implementación de un biodigestor de tipo tubular de pequeña escala como una forma de producción de energía sustentable amigable con el medio ambiente.

Palabras clave: Hidrólisis, Acidogénesis; Acetogénesis; Metanogénesis; Biogás.

ÍDICE

Capítulo I	1
1. Introducción.....	1
2. Planteamiento del Problema	2
2.1 Caracterización del Problema	2
2.2 Delimitación del problema	2
2.3 Formulación del problema	3
2.4 Sistematización del problema	3
3. Justificación.....	4
4. Objetivos	5
4.1 Objetivo general	5
4.2 Objetivos específicos	5
Capítulo II.....	6
5. Antecedentes	6
6. Marco teórico	8
6.1 Estiércol.....	8
6.1.1 Contaminación por el estiércol.....	8
6.1.2 Ventajas y desventajas del estiércol.....	9
6.1.3 Composición del estiércol.....	10
6.2 Biomasa.....	12
6.3 Tipos de Biomasa	12

6.3.1Biomasa residual húmeda:	13
6.3.2Biomasa residual agrícola:	13
6.3.3Residuo forestal:	13
6.3.4 Biocombustibles sólidos:	14
6.3.5 Cultivos energéticos.....	14
6.3.6 Biocarburantes	14
6.4 Derivados de la Biomasa.....	14
6.4.1Biocombustibles	14
6.5 Tipos de combustibles.....	14
6.6 Fuentes de la biomasa	15
6.6.1Granjas o fincas	16
6.6.2 Residuos de vegetales.....	16
6.6.3 Ciudades y poblados	16
6.6.4 Industrias	16
Características energéticas de la biomasa.....	16
6.7 Formas de generar energía a partir de la biomasa:	16
6.8 Digestión anaeróbica.....	17
6.9 Procesos de la descomposición anaeróbica.	18
6.9.1La hidrólisis	18
6.9.2 Acidogénesis.	19
6.9.3 Acetogénesis.	19

6.9.4	Metanogénico.....	19
6.10	Tipo de materia prima	20
6.11	Temperatura.....	21
6.12	Valor de acides (PH).....	24
6.13	Composición de la materia orgánica	26
6.13.1	Humedad.....	26
6.13.2	Sólidos totales.....	26
6.13.3	Sólidos volátiles (SV).....	26
6.13.4	Sólidos fijos (SF)	27
6.14	Principales utilidades del Biogás	27
6.15	Biogás.	27
6.16	Propiedades energéticas del biogás.	29
6.16.3	Producción de biogás a nivel mundial.....	30
6.17	Biodigestores.	31
6.18	Partes fundamentales del biodigestor.	31
6.19	Funcionamiento del biodigestor.....	33
6.19.1	Condiciones para la biodigestión.	33
6.19.2	Biomasa o sustrato a utilizar.....	34
6.20	Tipos de biodigestores.....	35
6.20.1	Biodigestor discontinuo	36
6.20.2	Biodigestores Semi-continuos.....	36

6.20.3 Biodigestor de mezcla completa.....	36
6.20.4 Modelo chino.....	36
1.1.1 6.20.5 Biodigestor Chino.....	37
6.20.6 Modelo hindú.....	37
6.20.7 Biodigestor Hindú.....	38
6.20.8 Modelo Horizontal.....	38
6.20.9 Biodigestor horizontal.....	39
6.21 Ventajas y desventajas de los biodigestores.....	40
6.21 Diseño.....	41
7. Hipótesis.....	43
Capítulo III.....	44
8.1 Diseño metodológico.....	44
8.2 Tipo de estudio.....	44
8.2.1Área de estudio.....	45
8.2.2 Ubicación geográfica.....	45
8.2.3Área de conocimiento.....	45
8.3 Universo y ámbito.....	46
La población.....	46
La muestra.....	46
Las unidades experimentales.....	46
8.4 Matriz de operación de variables.....	47

8.5 Métodos, técnicas e instrumentos para la recolección de datos e información	48
8.6 Plan de Tabulación	60
Capítulo IV	61
9. Resultados	61
9.1 Caracterizar las propiedades básicas del sustrato porcino orgánico que permiten la generación de biogás	61
9.2 Determinar la producción de biogás generado en un biodigestor tipo Bach a partir del sustrato porcino.	63
9.3 Analizar el efecto de la temperatura y el pH en la producción de biogás que se obtiene en el proceso biológico de digestión anaerobia	64
9.4 Proponer un biodigestor de tipo tubular para el tratamiento de estiércol porcino para la granja de la Finca Las Palmas del Municipio de San Juan de Rio Coco	67
Capítulo V	76
10. Conclusiones	76
11. Recomendaciones	77
12. Bibliografía	78
13 Anexos	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: materia orgánica compleja.	18
Figura 2: Tasa de crecimiento relativo de microorganismos psicrófilico, mesófilico y termófilicos.	24
Figura 3: Propiedades energéticas del biogás.	29
Figura 4: Partes fundamentales de un biodigestor.	32
Figura 5: Características de un biodigestor para que opere en forma correcta.	35
Figura 6: Modelo Chino.	37
Figura 7: Modelo hindú.	38
Figura 8: Biodigestor horizontal.	39
Figura 9: Biodigestor tipo Batch.	40
Figura 10: Ubicación geográfica.	45
Figura 11: Pesaje de la muestra.	50
Figura 12: Muestra de horno a 105°C.	50
Figura 13: Muestras en horno a 550°C.	51
Figura 14: Unidad experimental.	53
Figura 15: medición de PH.	54
Figura 16: medición de temperatura.	55
Figura 17: Granja Finca las Palmas.	56
Figura 18: Pesaje del estiércol.	57
Figura 19: Diseño de Fosa trapezoidal.	58
Figura 20: Producción de biogás en (ml).	63

Figura 21: Temperatura de biodigestor.	64
Figura 22: Rango de PH.	66
Figura 23: Pesos en Kg de la leña.	68
Figura 24: Dimensiones de la fosa.	71
Figura 25: Biodigestor tipo tubular.	90
Figura 26: Pesaje de cenizas después de salir del horno.	90
Figura 27: Muestra de cenizas después de salir del horno.	90
Figura 28: Muestra experimentales.	91
Figura 29: Medidas de temperatura interna del biodigestor.	91
Figura 30: Cerdos de la granja.....	91
Figura 31: Casa de la finca.	91
Figura 32: Pesaje de la leña.....	92
Figura 33: Fogón que se utiliza en la Finca las Paslmas.	92

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición del estiércol	10
Tabla 2: Composición nutritiva de estiércoles en materia fresca	11
Tabla 3: Producción de estiércol fresco diario	42
Tabla 5: Solidos totales muestra 1; 2; 3	61
Tabla 6: Solidos volátiles muestran 1; 2; 3.....	62
Tabla 7: Valores promedios de PH en los intervalos de 10 días	67
Tabla 8: Pesos totales y promedio del pesaje de estiércol porcino de la granja de la Finca las Palmas	69
Tabla 9: Dimensiones que tendrá el biodigestor	69
Tabla 10: Resultado de las dimensiones de la zanja	70
Tabla 11: Presupuesto de biodigestor.....	72

Capítulo I

1. Introducción

En Nicaragua el manejo de los residuos orgánicos ha sido históricamente deficiente, ya que hay situaciones donde estos están cerca de los poblados lo cual afecta a la población causando graves enfermedades respiratorias, al no dársele el tratamiento adecuado a los residuos de origen animal, esto causa graves problemas ambientales por la descomposición química de estos.

La biomasa es un tipo de energía renovable en la que se emplea materia orgánica como fuente de energía. Esta materia orgánica es originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado. Es, por tanto, materia orgánica utilizada como fuente energética. Por su amplia definición, la biomasa abarca un amplio conjunto de materias orgánicas que se caracteriza por su heterogeneidad, tanto por su origen como por su naturaleza (Nogués, Rezeau, & García, 2010).

Para (Amado Garcia, 2009), La digestión anaeróbica es la degradación biológica u oxidación del material orgánico, donde interviene microorganismos específicos en ausencia de aire (oxígeno molecular). En este proceso el material a degradar se transforma en dos productos utilizables, el uno en un producto estable e inerte llamado biol y el otro en biogás con un alto contenido de metano, ambos productos de este proceso poseen cualidades energéticas.

La siguiente investigación tuvo como fin la producción de biogás por el método de digestión anaerobia a base de sustrato porcino la Finca las Palmas del Municipio de “San Juan de Rio Coco” tiene un gran potencial para la producción del mismo, ya que cuenta con una cantidad considerable de ganado porcino. Este estudio se rige por el enfoque filosófico, por el uso de instrumentos de recolección de la información y mediante un enfoque cuantitativo de investigación. La investigación es de mucha importancia ya que el biogás puede ser empleado como combustible en las cocinas como una de las alternativas energéticas sustentables para las comunidades rurales y dentro de la Finca.

2. Planteamiento del Problema

2.1 Caracterización del Problema

La sociedad actual genera una gran cantidad de residuos que afectan a los distintos vectores ambientales: aire, agua y suelo. Esta contaminación afecta también la salud de las personas, que contraen enfermedades por acumulación de bacterias, insectos o pequeños roedores. La correcta gestión de los residuos y las aguas servidas, asegurando su posterior tratamiento, es una de las claves para conseguir un ambiente sano y saludable.

En Nicaragua el CO₂ una gran parte es producido por el uso de leña, según el balance energético nacional del 2016 en el cual se refleja que el 40.8% de la energía utilizada es proveniente de la leña (MEN, 2017). Otro factor influyente es la falta de ahorro energético existente en el país. En algunas poblaciones rurales es difícil conseguir combustible a bajo costo, pues los accesos y carreteras a las poblaciones son de muy mala calidad. Lo que ha conllevado a que las comunidades opten por seguir utilizando la biomasa sólida (leña).

2.2 Delimitación del problema

En Nicaragua el manejo de los residuos orgánicos ha sido históricamente deficiente. En las comunidades rurales de Nicaragua es común observar la existencia de crianzas de cerdo a pequeña escala, ligada a la producción de desechos orgánicos que, al no ser tratados con responsabilidad, se convierten en un foco contaminante e infeccioso para el medio ambiente y la sociedad rural.

Según (INEI, 2012), se realizó el cálculo aproximado de la población porcina a nivel rural de granja con un total de 169,946 cabezas en el año 2012. Lo que conduce a una alta generación de residuos porcinos los cuales en su mayoría no se les da uso y al no dárseles un tratamiento adecuado son de los principales contaminantes del país.

La Finca Las Palmas cuenta con una crianza de cerdos, los residuos porcinos son vertidos al aire libre y esto contamina el ambiente, además de los vertederos de agua generando moscas y posibles enfermedades a las personas y otros animales que se abastecen de estas aguas contaminadas. Además, se cocina con leña lo que provoca la generación de gases dentro de las viviendas como el CO₂ y material particulado, esto provoca problemas

respiratorios sobre todo en las mujeres que son la que se encargan de la cocción de los alimentos y están más expuestas al humo.

2.3 Formulación del problema

A partir de la caracterización y delimitación del problema antes expuesta se plantea la siguiente pregunta presente del estudio: ¿Cuáles son los procedimientos para evaluar La Generación de biogás a base del sustrato porcino mediante el proceso de digestión anaerobia en la finca Las Palmas del municipio de San Juan de Rio Coco contribuirá a resolver la problemática de la generación de CO₂ por el uso de leña y estiércol porcinos que son vertidos al aire libre en la Finca y contribuirá a la sostenibilidad de esta?

2.4 Sistematización del problema

¿Cuáles son las propiedades básicas del sustrato porcino orgánico que permiten la generación de biogás?

¿Cuánto será la producción de biogás generado en un biodigestor tipo Bach a partir del sustrato porcino?

¿Cuál es el efecto de la temperatura y el pH en la producción de biogás que se obtiene en el proceso biológico de digestión anaerobia?

¿Cómo realizar la propuesta de un biodigestor para el tratamiento de estiércol porcino para la granja de la Finca Las Palmas del Municipio de San Juan de Rio Coco?

3. Justificación

Con la constante subida de los precios de los combustibles fósiles, unido a la crisis medioambiental que se genera, se hace indispensable valorar la utilidad de los desechos orgánicos y su aprovechamiento para obtener combustibles de ellos, de esta manera empieza a entenderse así lo poco sensato que resulta importar o extraer combustibles fósiles de zonas remotas para obtener una energía la cual puede conseguirse en buena medida de los materiales que desechamos habitualmente.

La digestión anaerobia favorece al mejoramiento de ambientes higiénicos a través del control de la contaminación; genera energías renovables para actividades domésticas de cocción de alimentos; proporciona biofertilizantes para los cultivos. Por lo tanto, la tecnología anaeróbica es importante para la obtención de recursos.

La generación de biogás a partir del sustrato orgánico estiércol de cerdo tiene como propósito coadyuvar en la reducción de emisiones de gases que provocan el efecto invernadero del planeta, pero también es una alternativa que permite obtener energía para cubrir las necesidades de combustible en los hogares sobre todo de la zona rural de nuestro país como en el caso de la Finca Las Palmas del Municipio de San Juan del Rio Coco para resolver problemas como la disposición final de desechos disminuir el uso de leña y así evitar la tala de árboles, la generación de CO₂ y las enfermedades respiratorias causadas por el humo emanado de la leña.

El uso de biomasa es una alternativa para la generación de energía, por lo cual este estudio tiene importancia porque el estiércol porcino se encuentra en cantidades considerables en la Finca Las Palmas del Municipio de San Juan del Rio Coco tienen bajo costo de adquisición (o nulo), representan un factor de contaminación ambiental y podría producir una cantidad de biogás razonable. De esta forma pueda implementarse tecnologías para reducir los despales indiscriminados generados por el alto consumo de leña, como la propuesta de la realización de un biodigestor tubular que permitirá reducir enfermedades y por ende contribuir a la calidad de vida de las personas dentro de la Finca.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Evaluar la generación de biogás, a partir del sustrato porcino mediante el proceso de digestión anaerobia en la Finca las Palmas del Municipio de San Juan del Rio Coco en el periodo de Marzo a Agosto del año 2021.

4.2 Objetivos específicos

Caracterizar las propiedades básicas del sustrato porcino orgánico que permiten la generación de biogás.

Determinar la producción de biogás generado en un biodigestor tipo Bach a partir del sustrato porcino.

Analizar el efecto de la temperatura y el pH en la producción de biogás que se obtiene en el proceso biológico de digestión anaerobia.

Proponer un biodigestor de tipo tubular para el tratamiento de estiércol porcino para la granja de la Finca Las Palmas del Municipio de San Juan de Rio Coco”

Capítulo II

5. Antecedentes

Los déficits y costos crecientes del abastecimiento de petróleo han impulsado a muchos países a encarar estudios sobre práctica de fuentes de energía que reemplacen los habituales combustibles derivados de sistemas convencionales no renovables cuya extinción está prevista para este siglo. Entre los recursos energéticos renovables, se cuenta con una fuente de energía explotada durante las penurias económicas y energéticas producidas durante y después de la última guerra mundial. Se trata del gas del estiércol, gas de los pantanos o gas de granja, producido por fermentación del estiércol de animales, de la paja y de residuos agrícolas en general. Por su origen biológico se lo conoce mundialmente como biogás, que es una mezcla de gases conteniendo metano (50 a 70%), anhídrido carbónico (30 a 45%), hidrógeno (1 a 3%), oxígeno (0,5 a 1%), gases diversos (1 a 5%) y vestigios de anhídrido sulfuroso (Lokett, 1997).

El proceso de fermentación anaeróbica que produce el biogás, produce también una mezcla residual que es un rico fertilizante orgánico de mayor calidad y contenido de nitrógeno que el estiércol fresco y que puede ser utilizado para formar un compost con residuos vegetales o ser distribuido sobre los campos como fertilizante de considerable valor. El biogás y el abono residual de la operación, se han convertido en una fuente ideal de energía para las naciones con poblaciones rurales numerosas sin medios económicos y prácticos para disponer de energía convencional. Es así como ha tomado un gran impulso sobre todo en Asia, en países como China y la India, donde ya hay cerca de 500.000 plantas del tipo familiar instaladas y funcionando a pleno (Nitsch & Rettich, 1993).

La producción de biogás en pequeña escala puede ayudar a resolver la escasez de energía en algunos países en desarrollo y del tercer mundo proveyendo una alternativa al uso de la madera y otros combustibles de biomasa. Este es un punto importante en áreas donde la deforestación es un problema. La producción de 10 m³ de biogás en un biodigestor, puede ahorrar 2000 kg de madera como combustible, la cual es equivalente a reforestar 0.26-4 ha (Han, 2008).

En el contexto Nacional del país se han ejecutado diversos proyectos de producción de biogás en las zonas rurales de Nicaragua, un ejemplo de ello es Asofénix, que en conjunto con productores de comunidades rurales de Teustepe y San José de los Remates instalaron en conjunto más de 500 biodigestores para aprovechar el estiércol de ganado y mejorar las condiciones de vida de las personas y de esta manera reducir un poco la presión ejercida sobre los bosques de la zona (Asofenix, 2008).

(Toruño Sotelo, Casco Dávila, & Lira Ruiz, 2016) “Estudio de producción de biogás por medio del proceso de digestión anaerobia no controlada a partir de diversos sustratos orgánicos en la Facultad Regional Multidisciplinaria (FAREM–Estelí), II Semestre de 2016”. Tuvo como objetivo principal Desarrollar un estudio de producción de biogás por medio del proceso de digestión anaerobia no controlada a partir del aprovechamiento y caracterización de diversos sustratos orgánicos.

Con este estudio se concluyó que : La caracterización de las propiedades básicas de la materia orgánica utilizada en el estudio realizado mediante modelos lineales generales y mixtos permitió demostrar que, el sustrato orgánico de Caballo y Cerdo son mejores en cuanto a sus sólidos volátiles, esto también quedo demostrado al hacer la prueba de la llama esta encendía rápidamente al acercarle la llama de un cerillo, sin embargo si existen diferencias estadísticamente significativas con el sustrato de gallinaza que en la prueba presento un bajo nivel de volatilidad, de igual forma quedo demostrado en la prueba de la llama el cual necesitaba más tiempo para su combustión.

El proceso de digestión anaeróbico en los cinco biodigestores se realizó de manera satisfactoria, el comportamiento del pH se presentó de una forma estable y dentro de la neutralidad, reduciendo las posibilidades de inhibición por acidificación de la materia. El comportamiento promedio de la temperatura interna de los biodigestores, se mantuvo dentro de un rango mesofílicos en toda la unidad experimental no se detectaron variaciones bruscas de temperatura dentro de los biodigestores.

6. Marco teórico

6.1 Estiércol.

Es una mezcla de materia fecal y alimento rechazado, procedente del tracto digestivo de los animales, contienen residuos no digeridos de alimentos, y factores digestivos como enzimas, jugos gástricos, pancreáticos y células muertas de la mucosa intestinal, bacterias vivas y muertas del colon y productos del desecho del metabolismo (Duran Ramires, 2003).

El estiércol es el excremento de animales de ganadería, el cual se compone de una mezcla de material orgánico digerido y orina, que es utilizada para fertilizar el suelo.

La aplicación del estiércol en el suelo permite el aporte de nutrientes, incrementa la retención de la humedad, y mejora la actividad biológica, con lo cual se incrementa la fertilidad del suelo y por ende su productividad.

6.1.1 Contaminación por el estiércol.

El sector ganadero es uno de los principales responsables del efecto invernadero en el mundo y resulta más nocivo que el sector del transporte, según la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (Rosales , Gerber, & Castel, 2009).

El sector ganadero genera más gases de efecto invernadero, los cuales al ser medidos en su equivalente en dióxido de carbono (CO₂) son más altos que los del sector del transporte.

La ganadería no sólo amenaza al medio ambiente, sino que también es una de las principales causas de la degradación del suelo y de los recursos hídricos. El sector ganadero es responsable del 9 por ciento del CO₂ procedente de las actividades humanas, pero produce un porcentaje mucho más elevado de los gases de efecto invernadero más perjudiciales.

Genera el 65% del óxido nitroso de origen humano, que tiene 296 veces el Potencial de Calentamiento Global (GWP, por sus siglas en inglés) del CO₂. La mayor parte de este gas procede del estiércol, señalan los expertos (Rosales , Gerber, & Castel, 2009).

El sector ganadero es el medio de subsistencia para 1.300 millones de personas en el mundo y supone el 40% de la producción agrícola mundial.”⁷

Para muchos campesinos pobres en los países en desarrollo, el ganado es también una fuente de energía como fuerza de tiro y una fuente esencial de fertilizante orgánico para las cosechas. Durante mucho tiempo el estiércol se utilizó como abono natural para fertilizar el suelo, proporcionándole nutrientes, por lo que se pudo aplicar a la mayoría de suelos de cultivos, a través del proceso de compostaje para ayudar a la fertilización del mismo (Duran Ramires, 2003).

6.1.2 Ventajas y desventajas del estiércol.

Desventajas del estiércol

Para (Duran Ramires, 2003), La principal desventaja es que existe gran acumulación del excremento por la intensiva actividad ganadera en las zonas rurales y su inadecuada disposición final, lo que produce impactos al ambiente, como la proliferación de enfermedades que afectan al ganado y las personas dedicadas a estas actividades.

El estiércol puede contener gran contenido de antibióticos, pesticidas, etc. lo cual generaría una bioacumulación en la zona, ocasionando un problema para el uso de la fertilización del suelo.

Existe desequilibrio del compost, o compost de mala calidad al no mezclar estiércoles con gran contenido de macronutrientes, con otros materiales de menor contenido.

Si se desea utilizar el estiércol como abonos orgánicos, los ganaderos necesitan tener conocimientos, como también de maquinaria para realizar los volteos del material y producir un compost de gran calidad.

Ventajas del estiércol

En la agricultura y ganadería, la buena utilización y disposición del estiércol a través del compostaje, ayudaría a resolver ciertos problemas en ambas actividades agropecuarias. Como la poca fertilidad de los suelos y la acumulación excesiva del excremento.

Un adecuado proceso de fermentación o compostaje del estiércol, produciría un material asimilable para las plantas de cultivos y suelos fértiles. Lo que generaría buenas ventajas para el sector agropecuario.

El estiércol compostado produce más cantidad de humus, aumentando la actividad microbiana, que al aplicar directamente el estiércol sin tratar al suelo.

La utilización del estiércol como abonos orgánicos naturales, benefician grandemente a los agricultores, minimizando la aplicación de fertilizantes químicos.

6.1.3 Composición del estiércol.

El estiércol no es un abono de composición fija. Esta depende de la edad de los animales de que se procede, de la especie, de la alimentación a que están sometidas, trabajo que realizan, aptitud, naturaleza y composición de camas, etc. Un animal joven consume mayor cantidad de nitrógeno y fósforo que un animal viejo; las deyecciones que de aquel proceden contienen, pues, menor cantidad de esos elementos. Los animales viejos habiendo cesado de crecer, asimilan los alimentos únicamente las cantidades necesarias para cubrir las pérdidas y dan estiércoles más ricos en elementos fertilizantes.

Las diversas especies animales producen excremento de composición química diferente. Resulta que los orines del ganado abundan en nitrógeno (N) y sobre todo en potasa (K) y en cambio apenas contienen ácido fosfórico, que se encuentra todo en las deyecciones sólidas (López Perez, 2003).

Nutriente	Vacunos	Porcinos	Caprinos	Conejos	Gallinas
Materia orgánica (%)	48,9	45,3	52,8	63,9	54,1
Nitrógeno total (%)	1,27	1,36	1,55	1,94	2,38
Fósforo asimilable (P ₂ O ₅ , %)	0,81	1,98	2,92	1,82	3,86
Potasio (K ₂ O, %)	0,84	0,66	0,74	0,95	1,39
Calcio (CaO, %)	2,03	2,72	3,2	2,36	3,63
Magnesio (MgO, %)	0,51	0,65	0,57	0,45	0,77

Tabla 1: Composición del estiércol

Fuente : (López Perez, 2003)

En la composición del estiércol influye también la composición de las raciones alimentarias. Cuantas más ricas son estas en un determinado elemento, mayor es la cantidad que de ese elemento se encuentra en los excrementos. Las camas que se juntan con el estiércol, también influencia según su composición y cantidad, de aquel. Evaluando la cantidad de fertilizante de los diferentes excrementos se establecen en el siguiente orden.

Estiércol ovino.

Gallinaza.

Estiércol equino.

Estiércol bovino.

Estiércol porcino.

Tabla 2: Composición nutritiva de estiércoles en materia fresca

FUENTE	TIPO	SUSTANCIA ORGÁNICA	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Bovino	Líquida	5	1.0	0.1	1.6
Bovino	Sólida	18	0.4	0.2	0.1
Bovino	Mixta	10	0.6	0.2	0.1
Equino	Líquida	7	1.2	0.1	1.6
Equino	Sólida	23	0.5	0.3	0.3
Ovino	Líquida	8	1.6	0.1	2.3
Ovino	Sólida	30	0.6		0.3
Porcino	Líquida	2	0.3	0.4	0.9
Porcino	Sólida	16	0.6		0.3
Gallinaza	Sólida	25	1.4	0.1	2.1

Fuente : (López Perez, 2003)

6.2 Biomasa

Etimológicamente biomasa es un término compuesto por el prefijo bio del griego bios, vida y «masa» (del latín Massa, masa, bulto o volumen), es decir, hace referencia a «masa biológica». La entrada en el diccionario de la Real Academia de la Lengua Española define biomasa en su primera acepción como «materia total de los seres que viven en un lugar determinado, expresada en peso por unidad de área o de volumen». Otra definición usualmente utilizada cuando se hace referencia a la biomasa como una fuente de energía primaria o se plantea su aprovechamiento energético. La materia orgánica fijada por la fotosíntesis y la materia derivada de las transformaciones naturales o artificiales de dichos compuestos orgánicos» (Nogués, Rezeau, & García, 2010).

Cualquier ser vivo distinto a los pertenecientes al reino vegetal podría llegar a ser considerado biomasa, lo que, por otra parte, es usual en otros ámbitos científico-técnicos. Así, por ejemplo, en ciencias forestales y ambientales biomasa significa «cantidad total de seres vivos que hay en un biosistema», lo que en un ecosistema forestal incluye a toda la flora y la fauna existentes en el mismo. En el campo científico de la edafología, se denomina biomasa a la «masa total de la materia orgánica presente en el suelo en forma de tejido microbiano vivo». Por último, en el campo técnico de las degradaciones microbianas utilizadas para modificar ciertos materiales orgánicos y transformarlos en nuevos productos (fermentación de los azúcares de la uva para obtener alcohol, por ejemplo), se considera biomasa a la «producción microbiana» o «masa microbiana», parámetro que permite conocer el peso de microorganismos por unidad de volumen del flujo tratado, variable que posibilita el control del proceso. (Nogués, Rezeau, & García, 2010).

Otro concepto define como biomasa las sustancias orgánicas que tienen su origen en los compuestos de carbono formados en fotosíntesis. Estas sustancias pueden haber sufrido, previamente a su utilización, diferentes procesos, naturales o artificiales, que previamente a su utilización, de escasa o elevada complejidad. (Nogués, García-Galindo, & Rezeau, 2010)

6.3 Tipos de Biomasa

La biomasa suele clasificarse en biomasa primaria & secundaria; la primaria es aquella que se obtiene de un ecosistema natural para su utilización energética & la secundaria también

llamada residual, es la obtenida como residuo o subproducto de una actividad humana. De acuerdo al sector en el que la actividad humana obtiene la biomasa, generalmente suele hablarse de biomasa agrícola, forestal e industrial. (Noguéz, García-Galindo, & Rezeau, 2010) Según el modo de obtención, entonces, puede tenerse biomasa agrícola & forestal, tanto primaria como secundaria. En el caso de la biomasa cuyo origen es una actividad industrial o una ganadera tan sólo puede hablarse de biomasa secundaria o residual esta se puede dividir en:

6.3.1 Biomasa residual húmeda:

Es aquella con alto contenido de humedad y que, por su procedencia y composición, permite que la materia orgánica sea fácilmente degradable mediante procesos bioquímicos. Las principales fuentes son los residuos ganaderos como purines (excremento y orina); los residuos urbanos, como las partes orgánicas de la basura o las aguas residuales. (Noguéz, García-Galindo, & Rezeau, 2010).

6.3.2 Biomasa residual agrícola:

Una gran cantidad de los residuos agrícolas se queda en el suelo en forma de raíces frutos no aprovechables, tallos y partes aéreas de las plantas que tienen que ser recogidas para facilitar el trabajo agrícola, residuos de cosechas, cascaras y polvo de grano seca.

6.3.3 Residuo forestal:

Están constituidos por ramas cortezas cerraduras, hojas y raíces, resto de aserrío, resto de ebanistería estos se dividen en dos grandes grupos: residuos de tratamientos silvícolas (mantenimiento y mejoras de los bosques forestales mediante podas, limpieza de montes etc.) y residuos de corte y elaboración de madera estos son generados de una actividad comercial. (Garrido, 2007)

Residuos ganaderos es considerado como los desechos de las actividades ganaderas como el estiércol.

6.3.4 Biocombustibles sólidos:

También llamados, biomasa sólida. Las fuentes primarias son las extracciones de ecosistemas naturales directamente orientados a energías y cultivos energéticos. Como principales fuentes secundarias se tienen residuos de operaciones avícolas, los restos generados por actividades agrícolas, como las podas y las pajas y residuos industriales de procesado de madera y/o agroalimentarias. (Noguéz, García-Galindo, & Rezeau, 2010).

6.3.5 Cultivos energéticos.

Son cultivos realizados con la única finalidad de producir biomasa transformable en combustible.

6.3.6 Biocarburantes

Aunque su origen se encuentre en la transformación tanto de la biomasa residual húmeda como residual seca rica en azúcares o en los cultivos energéticos por sus características y sus usos finales exige una clasificación diferente (Rosas , y otros, 2011).

6.4 Derivados de la Biomasa

6.4.1 Biocombustibles

Se denomina biocombustible a todo combustible procedente de la biomasa, cuando un biocombustible se utiliza en un motor de explosión se le denomina biocarburante (el combustible líquido o gaseoso para transporte producido a partir de la biomasa).

6.5 Tipos de combustibles.

Bioetanol es un biocombustible de origen vegetal que se produce a partir de la fermentación de materia orgánica rica en azúcar (caña, remolacha o vino), así como de la transformación en azúcar del almidón presente en los cereales. Se utiliza en motores de explosión como aditivo o sustitutivo de la gasolina. La producción de bioetanol se basa en un proceso bien conocido: la fermentación alcohólica.

Biodiesel Mesclas de monoalquilesteres de ácidos grasos obtenidos a partir de lípidos renovables, como aceites o grasas de origen animal o vegetal.

BioETBE (Etil ter-butyl éter). Producido a partir del Bioetanol, ya que su utilización en motores presenta menos problemas que el propio Bioetanol.

Biogás. - combustible gaseoso producido a partir de biomasa y/o a partir de la fracción biodegradable de los residuos y que puede ser purificado hasta alcanzar una calidad similar a la del gas natural, para su uso como biocarburantes, o gas de madera.

Bioetanol. - metanol producido a partir de la biomasa, para uso como biocarburante;

Biodimetiléter. - dimetiléter producido a partir de la biomasa, para su uso como biocarburante;

Bio-ETBE (etil ter-butyl éter). - ETBE producido a partir del bioetanol. La fracción volumétrica de bio-ETBE que se computa como biocarburante es del 47 %;

Bio-MTBE (metil ter-butyl éter). - combustible producido a partir del biometanol. La fracción volumétrica de bio-MTBE que se computa como biocarburante es del 36 %;

Biocarburantes sintéticos. - hidrocarburos sintéticos o sus mezclas, producidos a partir de la biomasa;

Hidrobiodiesel combustible producido por hidrogenación/isomerización de aceite vegetal o animal.

Bioqueroseno. - Fracción ligera procedente de la destilación de biodiesel obtenido por transesterificación. Uso en mezclas con queroseno hasta el 20% para uso en motores aviación;

Bio-hidrógeno. - hidrógeno producido a partir de la biomasa y/o a partir de la fracción biodegradable de los residuos para su uso como biocarburante;

6.6 Fuentes de la biomasa

Las fuentes de la biomasa son inagotables al referirse a los procesos cíclicos del medio ambiente y a las actividades del ser humano. En cuanto a la clasificación de la biomasa producida como residual se puede describir las principales fuentes (García Garrido, 2009).

6.6.1 Granjas o fincas

Estiércol y orín de ganado (vacuno, porcino, equino, aves, etc.)

6.6.2 Residuos de vegetales

Beneficio de café

Cascara de diversos vegetales, etc.

Residuos de algodón

Fibras de coco y hojas de árboles.

6.6.3 Ciudades y poblados

Excremento y orín humano

Residuos sólidos municipales orgánicos

6.6.4 Industrias

Industria de bebida

Piscicultura

Industria de papel

Industria alimenticia

Características energéticas de la biomasa.

El contenido energético de la biomasa se mide en función del poder calorífico del recurso aunque para algunos de ellos como es el caso de la biomasa residual húmeda y los biocarburantes se determinan en función del poder calorífico del producto energético obtenido en su tratamiento (Rosas , y otros, 2011).

6.7 Formas de generar energía a partir de la biomasa:

Existen tres procesos de producción de energía a partir de esta:

Quema: genera vapor capaz de mover una turbina, que a partir de un generador produce energía eléctrica.

Extracción y transformación: se produce a partir de la extracción del aceite o alcohol de algunos cultivos tales como el sorgo, el trigo, la soja.

Descomposición: se produce a partir del gas metano y se lo conoce como biogás.

6.8 Digestión anaeróbica.

La digestión anaerobia es el proceso natural de descomposición de la materia orgánica en ausencia de aire a través de bacterias. Uno de los subproductos de ese proceso natural es el llamado biogás, que es una mezcla de gases en los que aparece el metano junto con otros incombustibles como el CO₂ y que como consecuencia tiene un poder calorífico menor que el gas natural. Aunque sea un gas más pobre que el que utilizamos de forma habitual, tiene a su favor que se genera a partir de un residuo, que es tratado de esta forma, y que se puede producir de forma local y próxima al consumo.

Mediante este proceso se pueden tratar un gran número de residuos como agrícolas y ganaderos, lodo de depuradoras biológicas, residuos industriales orgánicos, aguas residuales industriales, fracción orgánica de residuos sólidos urbanos.

Para (Amado Garcia, 2009) La digestión anaeróbica es la degradación biológica u oxidación del material orgánico, donde interviene microorganismos específicos en ausencia de aire (oxígeno molecular). En este proceso el material a degradar se transforma en dos productos utilizables, el uno en un producto estable e inerte llamado biol y el otro en biogás con un alto contenido de metano, ambos productos de este proceso poseen cualidades energéticas.

Las degradaciones anaerobias interactúan diferentes grupos microbianos, haciendo un proceso complejo, pero de manera coordinada y secuencial para la degradación de la materia orgánica.

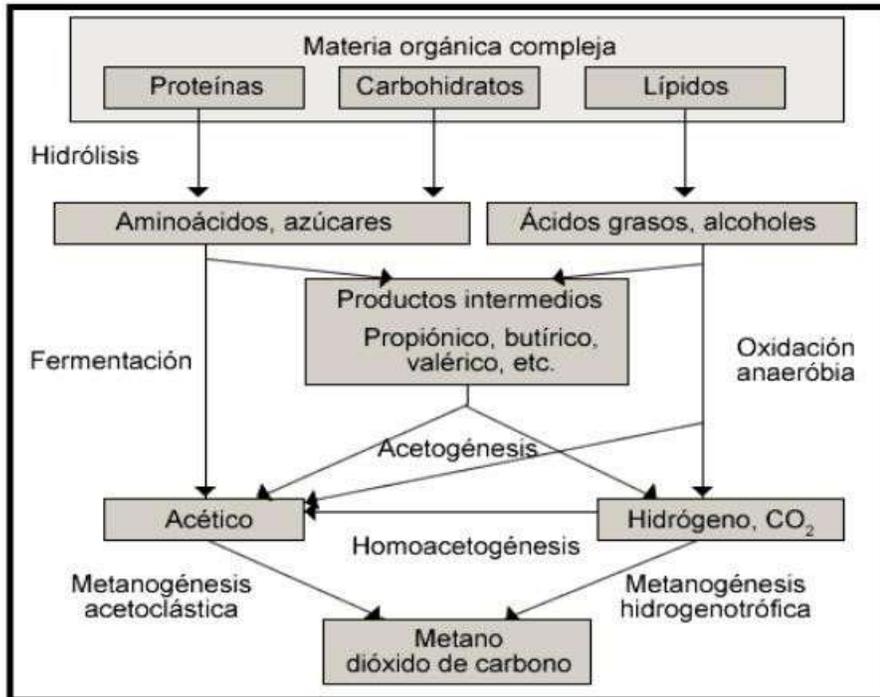


Figura 1: materia orgánica compleja.

Fuente: (Amado Garcia, 2009)

6.9 Procesos de la descomposición anaeróbica.

Los estudios bioquímicos y microbiológicos realizados hasta ahora, dividen el proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica en cuatro fases o etapas:

6.9.1 La hidrólisis

Esta es la etapa donde las proteínas, carbohidratos y grasas son transformados en compuestos solubles por acción de bacterias proteolíticas, celulíticas y lipolíticas, respectivamente. Esta etapa es fundamental para suministrar los compuestos orgánicos necesarios para la estabilización anaeróbica en forma que pueden ser utilizados por las bacterias responsables de las dos etapas siguientes (Pavlostathis & Gomez E, 1991).

Partículas y moléculas complejas (proteínas, carbohidratos y lípidos) que son hidrolizadas por enzimas extracelulares producidas por los microorganismos ácido génicos o fermentativos. Etapa fermentativa o ácido génica Durante esta etapa tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metano génicas (acético, fórmico, H₂) y compuestos

orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol principalmente) que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso.

La importancia de la presencia de este grupo de bacterias no sólo radica en el hecho que produce el alimento para los grupos de bacterias que actúan posteriormente, sino que, además eliminan cualquier traza del oxígeno disuelto del sistema. Este grupo de microorganismos, se compone de bacterias facultativas y anaeróbicas obligadas, colectivamente denominadas bacterias formadoras de ácidos (Pavlostathis & Gomez E, 1991).

6.9.2 Acidogénesis.

En esta etapa los compuestos orgánicos solubles que comprenden los productos de la hidrólisis son convertidos en ácidos orgánicos tales como acético, propiónico y butírico, fundamentalmente.

El consumo del oxígeno molecular del aire produce el ambiente anaerobio ideal para el desarrollo de las bacterias. El crecimiento bacteriano en esta etapa es rápido. En esta etapa no hay reducción significativa de la DQO del sustrato, puesto que las cadenas orgánicas más complejas se transforman en cadenas más cortas, sin consumo o reducción de la materia orgánica presente (Aqualimpia Engineering e.K., 2017)

6.9.3 Acetogénesis.

En esta etapa las bacterias acetogénicas interactúan con las Archaeas metano génicas colaborando entre sí, a fin de transformar los ácidos grasos resultantes en los sustratos propios de la metalogénesis.

6.9.4 Metanogénico

En esta etapa, un amplio grupo de bacterias anaeróbicas estrictas, actúa sobre los productos resultantes de las etapas anteriores.

Los microorganismos metano génicos pueden ser considerados como los más importantes dentro del consorcio de microorganismos anaerobios, ya que son los responsables de la

formación de metano y de la eliminación del medio de los productos de los grupos anteriores, siendo, además, los que dan nombre al proceso general de biometanización.

Los microorganismos metano génicos completan el proceso de digestión anaeróbica mediante la formación de metano a partir de sustratos mono carbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: acetato, H_2 / CO_2 , formato, metanol y algunas metilaminas. Los organismos metanos génicos se clasifican dentro del dominio Archaea y tienen características comunes que los diferencian del resto de procariotas. Se pueden establecer dos grandes grupos de microorganismos, en función del sustrato principal que metabolizan: hidrogenotróficos, que consumen H_2 / CO_2 y fórmico y acetoclásticos, que consumen acetato, metanol y algunas aminas.

Se ha demostrado que un 70% del metano producido en los reactores anaeróbicos se forma a partir de la descarboxilación de ácido acético, a pesar de que, mientras todos los organismos metano génicos son capaces de utilizar el H_2 como aceptor de electrones, sólo dos géneros pueden utilizar acetato. (Ríos, 2007)

Finalmente, mediante la acción de las bacterias metanogénicas, el hidrogeno y parte de los acetatos, son transformados en metano y bióxido de carbono. El amoniaco se estabiliza en forma de sales de amonio, permaneciendo en esta forma todo el contenido original de nitrógeno de la materia orgánica, que está sometido al proceso de biodegradación anaeróbica. El metabolismo de estas bacterias es más lento, y son más sensibles a distintas condiciones ambientales.

6.10 Tipo de materia prima

La rapidez y eficiencia del proceso de descomposición de la materia orgánica por medio de la fermentación metanogénicas está condicionada por los siguientes factores.

Las materias primas fermentables incluyen dentro de un amplio espectro a los excrementos animales y humanos, aguas residuales orgánicas de las industrias (producción de alcohol, procesado de frutas, verduras, lácteos, carnes, alimenticias en general), restos de cosechas y basuras de diferentes tipos, como los efluentes de determinadas industrias químicas

El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno, sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores) (Hilbert, 2007).

Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en proporciones adecuadas. Sin embargo, en la digestión de ciertos desechos industriales puede presentarse el caso de ser necesaria la adición de los compuestos enumerados o bien un post tratamiento aeróbico (Hilbert, 2007).

Las sustancias con alto contenido de lignina no son directamente aprovechables y por lo tanto deben someterse a tratamientos previos (cortado, macerado, compostado) a fin de liberar las sustancias factibles de ser transformadas de las incrustaciones de lignina. En lo atinente a estiércoles animales la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación que hayan recibido los mismos. Los valores tanto de producción como de rendimiento en gas de los estiércoles presentan grandes diferencias entre distintos autores.

Como norma se deberá tomar en cuenta que a raíz de estar trabajando en un medio biológico sólo los promedios estadísticos de una serie prolongada de mediciones serán confiables siempre y cuando figuren las condiciones en las cuales fueron realizadas las pruebas. En cuanto al volumen de estiércol producido por las distintas especies animales son variables de acuerdo fundamentalmente al peso y al tipo de alimentación y manejo de los mismos. Cuando se encare un proyecto específico se recomienda realizar una serie de mediciones en el lugar donde se emplazará el digestor.

6.11 Temperatura

En el desarrollo de cualquier proceso bioquímico, la temperatura es uno de los parámetros ambientales más importantes ya que mejora o inhibe a grupos microbianos específicos, esto debido a que las actividades implican reacciones enzimáticas, donde las enzimas son

complejos moleculares sensibles a la temperatura. Otra razón son los diferentes tiempos de activación de los grupos bacterianos durante el curso de la digestión, ya que cada uno de estos grupos, tiene una temperatura óptima en donde se puede estabilizar su tasa de crecimiento celular máximo. En el caso del tratamiento anaerobio de lodos, la temperatura del proceso determina la rapidez y el grado de avance de la digestión anaerobia (Mae-Wan, 2008).

Por ello, es importante que la temperatura se mantenga constante, ya que cada grupo bacteriano posee un grado de temperatura óptimo de crecimiento. Si la temperatura fluctúa, no se podrá mantener ninguna población metano genica en forma estable y una disminución en la población de 31 un determinado grupo puede afectar al proceso de digestión anaerobia, reduciendo el grado de estabilización del lodo y con ello la formación de CH₄.

La biodigestión anaerobia puede ocurrir en un amplio rango de temperaturas que van desde los 5°C hasta los 60°C. Las bacterias metano génicas son más sensibles a la temperatura que los demás microorganismos de un biodigestor, debido a que su velocidad de crecimiento es más lenta. El proceso de digestión anaerobio no se ve afectado si la temperatura aumenta en unos pocos grados; sin embargo, un decrecimiento podría retardar la producción de metano, sin perjudicar la actividad de las bacterias acidificantes, lo cual permite una excesiva acumulación de ácidos y una posible falla en el biodigestor. En este sentido, se debe procurar mantener un microclima cálido en el biodigestor para conservar una tasa de producción de biogás alta (Bidlemaier, 2006), (Osorio, Ciro, & Gonzalez, 2007).

La temperatura, de igual forma afecta de manera directa los procesos que controlan la dimensión del crecimiento microbial, así la velocidad con la que crecen los microorganismos responsables del proceso anaerobio aumenta con la temperatura (Van Lier, Hulsbeek, Stams, & Lettinga, 1993) definiéndose tres rangos de temperaturas para clasificar los sistemas: psicofílico, por debajo de 20°C, o a temperatura ambiente; mesofílico, entre 20-40°C, y termofílico entre 40 y 65°C.

El rango mesofílico es el más utilizado, pese a que el termofónico presenta ciertas ventajas, como la mayor rapidez, la higienización del residuo, eliminación de larvas, semillas de

malas hierbas, organismos patógenos, mayor hidrólisis de partículas (Gallert, Bauer, & Winter, 1998).

Sin embargo, el rango termofílico puede ser más inestable, sobre todo por la mayor toxicidad de determinados compuestos a altas temperaturas, como el nitrógeno amoniacal (Hashimoto, 1986), (Gallert et al; 1998), o los ácidos grasos de cadena larga (Hwu & Lettinga, 1997); algunas de las ventajas que presenta el rango termofílicos son:

Una fermentación más rápida.

Eliminación de casi un 100% de virus y bacterias patógenas.

Separación solido-liquido más rápidamente.

Disminución de la viscosidad de la solución.

El rango psicofílico es poco viable debido a la baja velocidad de crecimiento de los microorganismos y, por tanto, al gran tamaño de reactor necesario. Sin embargo, simplifica mucho el diseño y hay menos problemas de estabilidad ya que cuanto mayor es el tiempo de retención menor es la diferencia entre las velocidades de degradación a diferentes temperaturas (Fannin, 1987). La temperatura óptima para el crecimiento bacteriano dependerá de cada especie, tal y como se muestra en la tabla anterior. Las variaciones producidas en la temperatura de unos pocos grados durante la digestión conducen a perturbaciones del proceso, que se manifiestan muy rápidamente en un rendimiento de degradación más bajo y un descenso en el porcentaje de metano en el biogás.

Debido a la fuerte dependencia que presenta el proceso de digestión anaeróbica respecto a la temperatura, es este uno de los parámetros críticos que es necesario mantener en un rango controlado.

Los procesos anaeróbicos, al igual que muchos otros sistemas biológicos, son fuertemente dependientes de la temperatura. La velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados que, a su vez, dependen de la temperatura. A medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión, dando lugar a

mayores producciones de biogás. La temperatura de operación del digestor, según lo destaca (Speece, 1983), es considerada uno de los principales parámetros de diseño, debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de digestión anaeróbica como puede observarse en la figura 2.

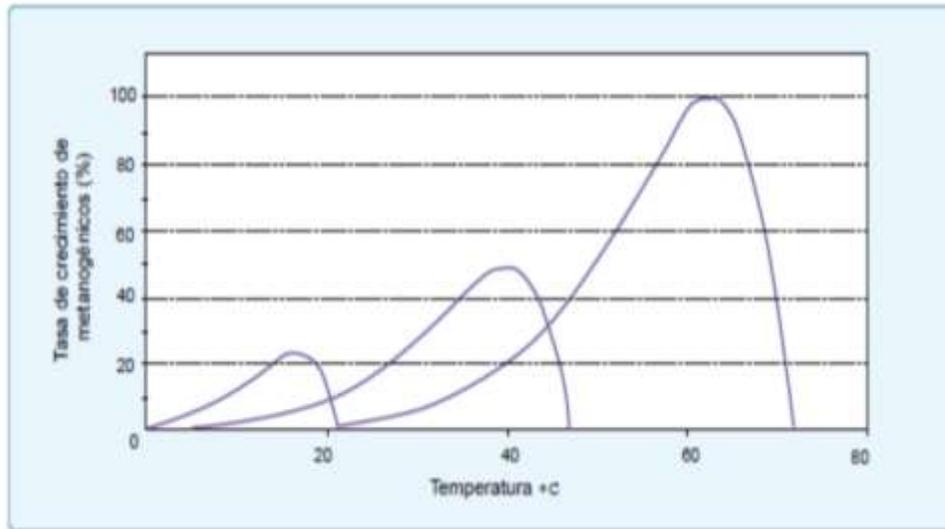


Figura 2: Tasa de crecimiento relativo de microorganismos psicrófilo, mesófilo y termófilos.

Fuente: (Speece, 1983)

El régimen termófilo se ha relacionado estrechamente con mayores problemas de estabilidad (Hobson, 1995). Sin embargo, otros autores consideran que las plantas termófilas son tan estables y tan operables como las mesófilas, presentando, además de las ventajas antes mencionadas, una mayor producción de gas por unidad de sólidos volátiles y una mejora en el pos tratamiento, ya que el efluente de la digestión termófila es más fácilmente deshidratable, junto con una menor producción de malos olores (Ahring, Sandberg, & Angelidaki, 1995), (Krugel, Nemeth, & Peddie, 1998).

6.12 Valor de acidez (PH).

Otro factor limitante en el proceso de digestión anaerobia es el pH, ya que este afecta directamente la actividad enzimática de los microorganismos, los resultados encontrados en los artículos consultados revelan que la mayoría de los microorganismos se desarrollan

óptimamente en pH entre 6.8 a 7.2. No obstante, este factor no puede generalizarse, debido a que está directamente influenciado por el tipo de sustrato utilizado. En primera instancia se define el pH como una medida de la concentración de hidrógeno expresado en términos logarítmicos. Los valores del pH se reducen a medida que la concentración de los iones de hidrógeno incrementa, variando entre un rango de 0 a 14. Los valores por debajo 7.0 son ácidos, valores superiores a 7.0 son alcalinos y/o básicos, mientras que los que rondan 7.0 son denominados neutros. (Meza García, 2011). Existen varios métodos para medir el valor del pH, dentro de los más destacados se encuentran: papel tornasol o tiras medidoras, pH metro digital, gotas indicadoras o rojo fenol, entre otros.

Según estudios desarrollados por (Guarda Puebla, 2012) el pH es una importante variable para la fase de hidrólisis-acidificación, los valores de PH inferiores a 5 afectan considerablemente la producción de los ácidos orgánicos, siendo los valores cercanos a pH 6 los más adecuados para obtener altos niveles de esos compuestos en esta fase. Coincide en afirmar que el pH tiene una influencia importante en la digestión anaerobia ya que afecta la solubilización de materias orgánicas. El máximo rendimiento de metano se ha observado manteniendo un pH entre 6,8 y 7.2. Microorganismos hidrogenantes y ácido génicos prefieren valores dentro del rango de 5.5 y 6.5. Sin embargo, el pH óptimo para el microorganismo metano génico está cerca 7.0, y las reacciones anaeróbicas son altamente dependientes del pH, siendo el rango óptimo para las bacterias metano génicas entre 6.8 a 7.2. (Guarda Puebla, 2012). El afirma que las condiciones óptimas para la producción de metano a partir de mucílago de café son pH 8.2 y concentración de azúcar 27 gL⁻¹.

Tal como se muestra en las referencias de investigaciones más recientes, se evidencia que los valores de pH son tendientes a trabajar en rangos un poco más ácidos, debido a que en las etapas de ácido génesis y acetogénesis se forman ácidos carboxílicos o ácidos débiles, dentro de los que se destacan el ácido acético y el ácido propanoico; e incluso en la etapa metano génica, es evidente la formación de estados de equilibrio, dándose consigo la formación del ácido carbónico, sin embargo, cabe recordar que este tipo de sistemas de equilibrio con el ion carbonato tienden a alcalinizar los sistemas, por ello, es de gran importancia conocer la acidez/basicidad del sustrato de partida. Se tienen reportes que el café posee una acidez que oscila entre 1-4.84, por lo que es importante establecer que

dependiendo del tipo de residuos se busquen reguladores De pH con la capacidad amortiguadora suficiente para controlar el sistema. En la Tabla 4 se explican claramente los distintos estudios reportados para este residuo agroindustrial y los rangos de pH encontrados.

6.13 Composición de la materia orgánica

(Valdivia, 2000) Propone para la fermentación los microorganismos metano génicos requiriendo de suficiente material de carga para que el proceso de digestión no se interrumpa, el porcentaje más adecuado de contenido en sólidos es del 5% al 10% lo que indica que la biomasa más adecuada es la de alto contenido en humedad.

Durante la digestión se encuentra que no toda materia prima se digiere, si no que parte se convierte en metano, otra en sedimento y habrá también una porción que no se digiere, esta y otras propiedades básicas de la materia se expresan casi siempre como sigue:

6.13.1 Humedad

Cantidad de agua existente en la materia a utilizar. Se obtiene al secarse el material a 104°C, hasta que no pierda peso; la diferencia entre el peso inicial y el peso final es equivalente a la humedad que contenía la materia (Valdivia, 2000)

6.13.2 Sólidos totales

Materia orgánica sin humedad, es decir, el peso de la materia seca que queda después del secado como se indicó antes. El sólido total suele ser equivalente al peso en seco (sin embargo, si se secan los materiales al sol, es de suponer que aun contendrán, cerca del 30% de humedad). El sólido total incluye componentes digeribles o “sólidos volátiles” y residuos no digeribles o “sólidos fijos” (Valdivia, 2000).

6.13.3 Sólidos volátiles (SV)

Los sólidos volátiles son considerados como la materia que realmente es transformada por las bacterias. Es el peso de los sólidos orgánicos quemados cuando el material seco se enciende (se calienta unos 538 °C) (Valdivia, 2000).

6.13.4 Sólidos fijos (SF)

Material que no será transformado durante el proceso y es el peso que queda después del encendido (cenizas), se trata de material biológicamente inerte. Los sólidos fijos son el residuo de los sólidos totales, disueltos o suspendidos, después de llevar una muestra a sequedad durante un tiempo determinado a 550°C(Valdivia, 2000).

6.14 Principales utilidades del Biogás

La generación eléctrica: La conversión de la energía contenida en el biogás a energía eléctrica se hace a través de unos motores generadores alimentados por el biogás. La electricidad generada puede alimentar las instalaciones de la explotación agrícola o venderse a la red eléctrica general.

Uso directo como gas: El biogás es posible también emplearlo de manera directa en los vehículos y maquinaria adaptados para el consumo de gas en lugar de gasolina, gasóleo

Solución mixta: Por último también es posible optar por una solución mixta, empleando parte del biogás para generar electricidad y otra parte utilizarla de forma directa (Hernandez F. , 2015).

6.15 Biogás.

Biogás, es un gas inflamable, producido por estiércol de ganado, cerdos y otras materias orgánicas. Este es un producto que no produce humo y además es un combustible muy eficiente .Este puede ser usado para cocinar, iluminar y para otros motivos de energía (Family size bio- Gas plant- Code of practice , 1998).

El biogás es una mezcla gaseosa formada principalmente por metano, dióxido de carbono & pequeñas proporciones de otros gases, éste puede ser utilizado de diferentes maneras.

Para la producción de biogás es necesaria la digestión anaerobia. Esta descomposición de la materia orgánica produce un gas combustible, este gas contiene una alta proporción en metano, este proceso se lleva a cabo en digestores de metano, plantas de biogás o simplemente reactores anaeróbicos, este tipo de fermentación, no es más que un tipo de fermentación catalizada por bacterias específicas. Mediante el proceso de anaerobia puede

tratarse un gran número de residuos, entre estos: Agrícolas & ganaderos, lodos de depuradoras biológicas, residuos industriales orgánicos, aguas residuales & residuos urbanos

Biodigestor o digestor.

Un digestor de desechos orgánicos o biodigestor es, en su forma más simple, un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales y humanos, desechos vegetales-no se incluyen cítricos ya que acidifican-, etcétera) en determinada dilución de agua para que se descomponga, produciendo gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio (Hernandez Ruiz, 2009).

Es un recipiente o tanque, de forma cilíndrica o esférica, cerrado, hermético e impermeable, que puede ser construido con diversos materiales como ladrillo y cemento, metal o plástico. Está compuesto por tres cámaras:

Cámara de carga: Contiene un conducto de carga por donde se suministra la materia orgánica ayudada por un sistema de bombas utilizando agua extraída del mismo digestor.

Cámara de digestión: Aquí se realiza la digestión por parte de las bacterias anaeróbicas, las cuales transforman la biomasa (materia orgánica) en biogás. Dentro de la misma, existe un agitador, el cual permite mover la masa de digestión, logrando así un mejor contacto entre la biomasa que ingresa y las bacterias, además de ayudar a desprender las burbujas de biogás las cuales se dirigen a la campana de acumulación de gas.

Cámara de descarga de residuos: Se utiliza para extraer el material sólido remanente o material estabilizado (es decir, que ya no seguirá degradándose biológicamente), depositado en el fondo de la cámara de digestión junto con el agua. El material extraído es un buen abono para la tierra y el agua es utilizada para riego, en cantidades estrictamente limitadas.

Campana de acumulación o gasómetro: Es un dispositivo para captar y almacenar el biogás, luego el mismo es extraído a través de válvulas situadas en la parte superior de la misma. Estas válvulas están conectadas a un sistema de mangueras que lo transportan hasta el lugar de uso, por ejemplo una cocina (Martinez, 2014).

6.16 Propiedades energéticas del biogás.

Las propiedades del biogás se deben a la presencia del gas metano como combustible principal y del hidrogeno en proporción al contenido de los mismos (Biblioteca del Campo, 1998).

La combustión es muy limpia dando como productos finales dióxido de carbono y agua que no son contaminantes; por esta razón se dice que el biogás es un combustible ecológico.

El poder calorífico del biogás está comprendido entre 4.500 y 6.000 kilocalorías/m³ dependiendo de su composición".¹²

El biogás tiene un poder calorífico algo mayor que la mitad del poder calorífico del gas natural. Un biogás con un contenido en metano del 60% tiene un poder calorífico de unas 5.500 kcal/Nm. Es decir, salvo por el contenido en H₂S, es un combustible ideal, con unas equivalencias que se muestran en la figura siguiente.

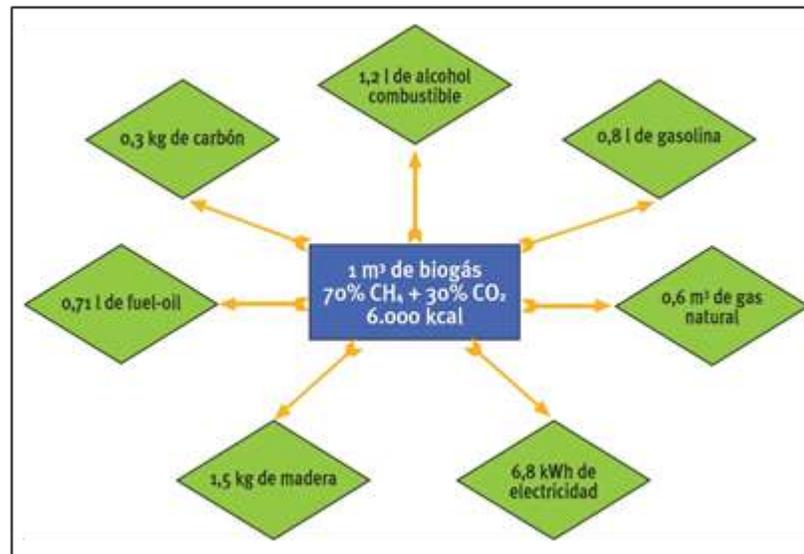


Figura 3: Propiedades energéticas del biogás.

Fuente: (Biblioteca del Campo, 1998)

Ventajas del biogás.

- Se reduce la emisión de metano a la atmósfera, que es también un gas de efecto invernadero.
- Establece centros descentralizados de producción de energía.
- Provee de fertilizantes de alta calidad.
- Reduce la producción de malos olores de la materia orgánica en descomposición.
- Se crea un valor añadido sobre los residuos.
- Se minimiza la dependencia de recursos energéticos exteriores.

Otro beneficio ambiental importante de las plantas de biogás es la significativa reducción de la presión sobre los rellenos sanitarios. De esta forma se reducen significativamente los costos de la disposición de residuos orgánicos, e incluso se obtienen sub-productos con valor agregado (Ríos, 2007).

Desventajas del uso de biogás.

El biogás no presenta muchas desventajas, pero se pueden mencionar que la carga del mismo requiere un considerable y paciente trabajo, ya que se debe realizar previamente una selección y clasificación de la basura además puede presentar fluctuaciones en la producción de energía debido a la disponibilidad variable de los recursos naturales. Por último también plantea dificultades de almacenamiento y distribución (Ríos, 2007).

Produce menos energía por unidad de volumen, plantea una dificultad para almacenarlo y distribución.

6.16.3 Producción de biogás a nivel mundial.

El digestor anaeróbico tiene sus raíces desde los 1770 cuando el científico italiano Alessandro Volta recolectó muestras de gas de pantano e investigó sobre sus propiedades combustibles (Wilkie, 2005).

A partir de esto la tecnología de los biodigestores fue usada en algunas partes del mundo, por ejemplo, Alemania montó su primera planta anaeróbica en 1906, y para 1997 tenía por

encima de 400 plantas industriales; para el 2010 se espera una capacidad instalada de 5.300 a 6.300 MW.¹⁷

Dinamarca tiene cerca de 20 plantas centralizadas de biogás debido a una política impulsada por el gobierno. España espera tratar los 83,5 millones de toneladas de desecho anuales y convertirlos en 8000 millones de m³ de biogás/año, gracias al empuje del Ministerio de Ciencia e Innovación.

Grandes promotores de dicha tecnología lo son también Suiza y Suecia. En China se estima que más de 20 millones de personas utilizan como fuente de energía renovable el Biogás. El uso potencial de esta tecnología se debe a que es un proceso tecnológico simple de usar con bajos requerimientos, utilizado para convertir materia orgánica en un vasto rango de tipos en metano.

Teniendo un sinnúmero de ventajas que favorecen al ambiente, como son la reducción malos olores, patógenos y en algunos casos, gases de efecto invernadero. Finalmente, la tecnología no afecta el contenido de nutrientes, lo que convierte el efluente en un excelente fertilizante para suelos.¹⁸

Un detalle clave para sacar el máximo provecho a la tecnología de digestores anaeróbicos en fincas agropecuarias, es un adecuado dimensionamiento del biodigestor. Cada biodigestor debería ser dimensionado acorde a las características de cada finca, indiferente de su tamaño; la tecnología es apta para granjas de cualquier tamaño.

6.17 Biodigestores.

Un biodigestor es un contenedor cerrado, hermético e impermeable, dentro del cual se coloca el material orgánico, en relaciones de estiércol-agua, y tiempos de retenciones para la degradación anaerobia, generando gas metano y fertilizantes, disminuyendo el potencial contaminante de los excrementos. Puede ser construido con diversos materiales como ladrillo, cemento, metal, plásticos, etc (Wilkie, 2005).

6.18 Partes fundamentales del biodigestor.

Entrada de mezcla desperdicios/agua.

Es un depósito cuadrado o cilíndrico donde se recibe el material orgánico, en el cual se realiza la mezcla con agua, para obtener un sustrato óptimo para la fermentación.

6.18.1 Cámara de fermentación.

Es el lugar donde se produce la degradación del material orgánico en ausencia de oxígeno en tiempos prolongados de fermentación, generando biogás y biol.

6.18.2 Depósito de salida:

Es aquel depósito donde se recoge el fertilizante producido de manera momentánea.

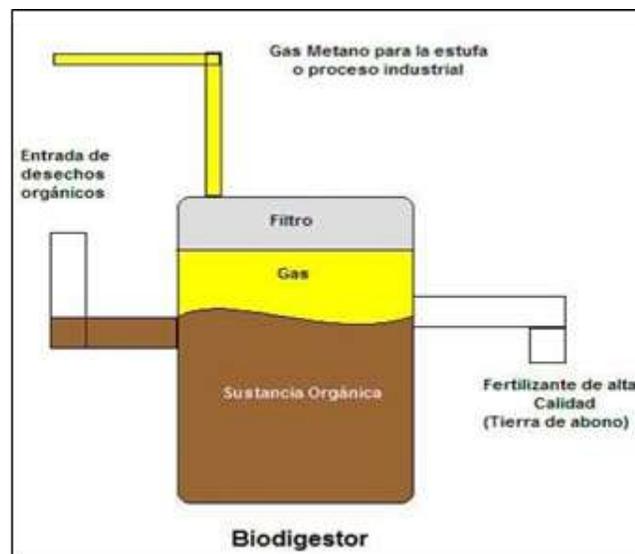


Figura 4: Partes fundamentales de un biodigestor.

(Wilkie, 2005) Fuente: (Wilkie, 2005)

Como resultado de esta transformación del material orgánico, se generan productos con un alto grado de concentración de nutrientes que pueden ser empleados de forma inmediata, ya que el tratamiento anaerobio elimina los malos olores y la proliferación de vectores (Wilkie, 2005).

Una de las características más importantes de la biodigestión es que disminuye el potencial contaminante de los excrementos de origen animal y humano, disminuyendo la DQO y la DBO hasta en un 90%.

El biodigestor puede ser empleado por familias campesinas, ya que se puede utilizar materiales de bajos precios, es fácil de construir, además se aprovecha el estiércol como materia prima, minimizando la contaminación ambiental y ayudando a resolver problemas energéticos de las familias campesinas de las zonas rurales.

6.19 Funcionamiento del biodigestor.

Para obtener biogás y fertilizante de buena calidad, dependerá principalmente de la relación estiércol-agua, condiciones de temperatura y pH, el biodigestor tendrá buen rendimiento dependiendo de la biomasa escogida, y el tiempo de retención necesarios para completar cada una de las etapas de la digestión anaerobia (Wilkie, 2005).

Se puede utilizar excrementos de ganado porcino, bobino, caprino, humanos y animales, como también restos vegetales, etc. que son fácilmente degradados en el biodigestor.

Debemos tomar en cuenta no incluir en la mezcla del sustrato huesos, grasas, tierra, piedras, maderas verdes; ramas, troncos, aserrín, viruta. Ya que resisten el ataque de los microorganismos, impidiendo la degradación total del sustrato.

El biodigestor debe estar en constante monitoreo, procurando que no tengas fugas, o a su vez esté lleno de presión, lo cual correría riesgo de explotar.

6.19.1 Condiciones para la biodigestión.

Las condiciones para la obtención de metano en el digestor son las siguientes:

Un factor primordial es la temperatura, pues de ella depende que los microorganismos se encuentren activos y trabajando, debemos simular las condiciones óptimas para minimizar los tiempos de retención del sustrato. La temperatura ideal para la biodigestión es de 30° a 35°C aproximadamente (Wilkie, 2005).

Un pH neutro.

Herméticamente sellado, lo que facilita el trabajo de los microorganismos en un ambiente anaerobio y óptimo.

Un nivel de humedad alto.

El sustrato se encuentre bien mezclado y no tenga tamaños grandes que dificulten la degradación.

Equilibrio de carbono/ nitrógeno.²¹

6.19.2 Biomasa o sustrato a utilizar.

En general cualquier sustrato puede ser utilizado como biomasa en cuanto contengan carbohidratos, proteínas, grasas, celulosa y hemicelulosa como componentes principales (Biomasa, 2011).

Para seleccionar la biomasa se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

El contenido de sustancias orgánicas debe ser el apropiado para el tipo de fermentación elegido.

El valor nutricional de la sustancia orgánica se relaciona directamente con el potencial de formación de biogás, por ende, se busca que sea lo más alto posible.

El sustrato debe estar libre de agentes patógenos que puedan inhibir el proceso de fermentación.

El contenido de sustancias perjudiciales o tóxicas debe ser controlado para permitir una tranquila evolución de la fermentación. Es importante que el resultado final del sustrato (después de haber aprovechado la fermentación para generar biogás) sea un desecho utilizable como por ejemplo fertilizante.

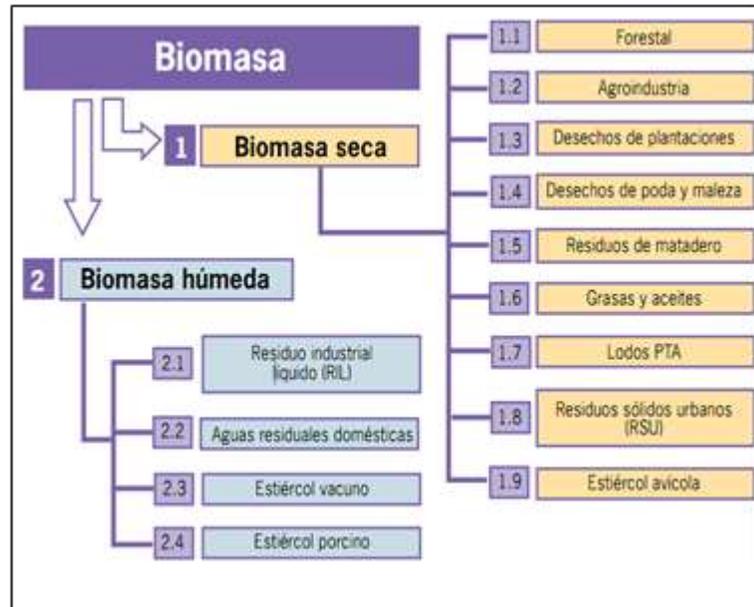


Figura 5: Características de un biodigestor para que opere en forma correcta.

Fuente: (Biomasa, 2011).

Evitar la entrada de aire cerrándolo herméticamente y así evitar también fugas del Biogás producido. y también evitar cambios bruscos de temperaturas aislándolos térmicamente sin embargo deberá contener una válvula de control del biogás generado no obstante deberá contar con medios para efectuar la carga y la descarga del sistema esta deberá tener acceso para limpiar la cámara de biodigestión, como también un mantenimiento adecuado sobre todo Se deberá contar con un medio de romper las natas que se forman.

6.20 Tipos de biodigestores.

Los biodigestores se pueden clasificar de diversas formas, pero la importancia radica en la frecuencia de cargado, ya que esta determina la cantidad de sustrato o biomasa que entrará en el proceso de digestión anaerobia. Es así que tenemos la siguiente clasificación.

(Reyes Aguilera, 2019) Afirma la definición de un Biodigestor como un contenido hermético, donde se realiza un proceso anaeróbico de descomposición (proceso de fermentación anaeróbica). La materia prima está constituida por materia orgánica, como desechos agrícolas, residuos animales, residuos humanos, etc.; es decir, en el biodigestor tal como indica su nombre sucede una digestión de la materia prima, luego de la cual se

obtiene biogás, biol y bioabono aproximadamente en un periodo. Definiendo las siguientes características:

6.20.1 Biodigestor discontinuo

Son aquellos biodigestores que una vez realizado carga del sustrato, ya no se puede meter o sacar el material hasta que finalice el proceso de biodigestión, es decir hasta cuando ya no se genere más biogás, el cual se vaciará y volverá a cargar nuevamente con el sustrato para iniciar con el proceso (Energia casera, 2010).

Este tipo de digestores anaerobios permiten mayor carga de materiales poco diluidos, por lo que no usa mayor cantidad de agua que los sistemas continuos. Teniendo como ventaja que no afecta significativamente la presencia de material pesado como tierra o arena.²²

6.20.2 Biodigestores Semi-continuos.

Son aquellos en el cual se cargan diariamente una porción pequeña de sustrato en relación al contenido total, en estos biodigestores se mantiene el volumen constante de sustrato en el interior.

Una limitante importante es la disponibilidad para el contenido de agua, debido a que el sustrato que ingresará al proceso de biodigestión debe componerse de una relación 1:4, es decir una parte del material orgánico y cuatro partes de agua (Energia casera, 2010).

6.20.3 Biodigestor de mezcla completa

Es conocido también como biodigestores continuos, se compone una con una entrada continua del sustrato y una salida continua del producto, este tipo de biodigestores no se completa al 100% el proceso, por lo que no garantizar la eliminación total de agentes causantes patógenos, por lo que es necesaria la recirculación del efluente.

6.20.4 Modelo chino.

Originario de la China, es una estructura cerrada que posee una cámara de carga y una cámara de descarga, puede ser construida de cemento, concreto o ladrillo. Tienen larga

durabilidad, y es bien resistente al ambiente. Unas de las desventajas de estos biodigestores es el alto costo de construcción.

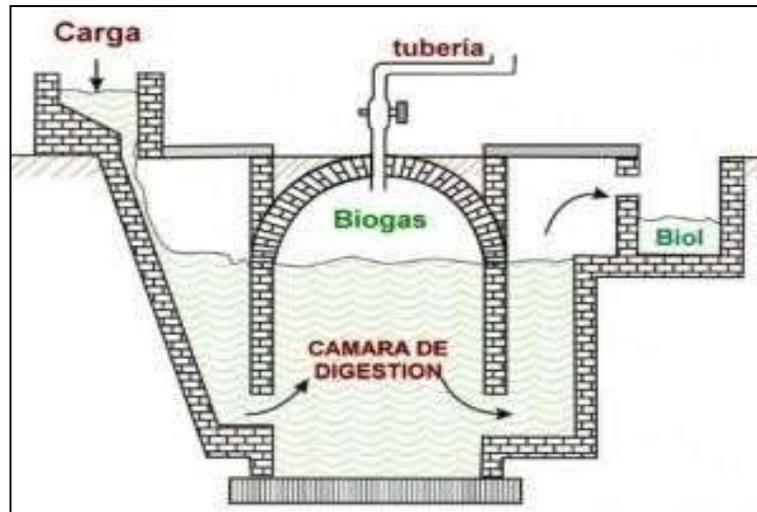


Figura 6: Modelo Chino.

Fuente: (Energia casera, 2010)

1.1.1 6.20.5 Biodigestor Chino.

La parte superior es hemisférica al igual que el fondo, la parte interior está sellada con cemento para hacerlo firme, el digestor almacena solo un pequeño volumen del gas generado en el interior, por lo que se necesita de un sistema de almacenamiento de gas exterior.

6.20.6 Modelo hindú.

Originario de la India, es llamado también biodigestor de domo flotante o de campana, el cual se caracteriza por flotar en encima del sustrato debido al contenido de biogás en su interior. Esta campana tiene la habilidad de subir y bajar dependiendo a la cantidad de biogás que se genera en el interior de la estructura, la campana o el domo puede ser de un material resistente a la corrosión y requiere de una guía central o rieles laterales que eviten el contacto con las paredes interiores. (Energia casera, 2010).

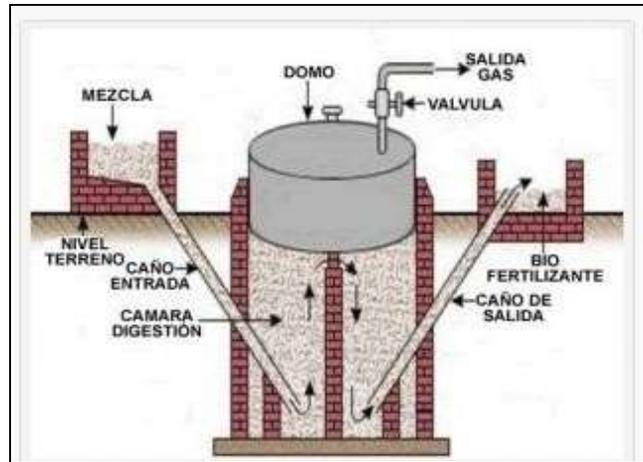


Figura 7: Modelo hindú.

Fuente: (Energia casera, 2010)

6.20.7 Biodigestor Hindú.

Este tipo de biodigestores no necesita un recipiente externo para almacenar el gas generado, además mantiene a una presión relativamente constante al interior de la campana lo que es muy ventajoso.

6.20.8 Modelo Horizontal.

Se caracterizan por tener la cámara de digestión alargada, donde el material orgánico recorre a lo largo del biodigestor produciéndose la degradación anaerobia, en cuyos extremos se sitúan la cámara de carga y la cámara de descarga del sistema.

El modelo horizontal antes descrito, ayuda a que la carga inicial no se mezcle con el efluente, haciéndolo útil en el aprovechamiento de residuos que requieran un tratamiento prolongado.



Figura 8: Biodigestor horizontal.

Fuente: (Energia casera, 2010)

6.20.9 Biodigestor horizontal.

Estos modelos horizontales son conocidos como biodigestores familiares de bajo costo, donde las familias campesinas que no tienen suficientes recursos optan por la construcción de este modelo, son fáciles de implementar utilizando plásticos tubulares de polietileno (Energia casera, 2010). Son aquellas que se encargan completamente de una sola vez y son vaciadas por completo después de un tiempo de retención fijado. Dentro de esta categoría la más conocida es la planta Olade Guatemala. El modelo tipo Batch es apropiado para cargar todo tipo de materiales de fermentación, debido a que el tiempo de retención con el que se trabaja es largo (Contretas, 2006).

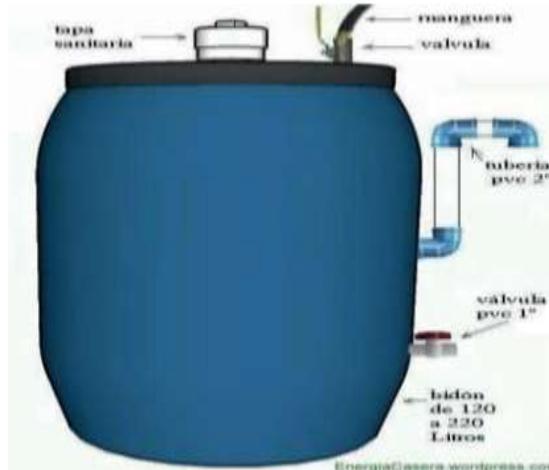


Figura 9: Biodigestor tipo Batch.

Fuente: (Contretas, 2006).

6.21 Ventajas y desventajas de los biodigestores.

Ventajas.

- Ayuda a controlar la excesiva acumulación de estiércol en las zonas ganaderas
- Ayuda a satisfacer la demanda de alumbrado, gas para cocinar, producción de energía eléctrica, etc.
- Generación de fertilizantes naturales ricos en nutrientes, para cultivos de los campesinos.
- Ayudan a controlar y minimizar la contaminación ambiental, sin aportar al calentamiento global.
- La disminución de olores del estiércol en los ranchos.
- Controla la proliferación de vectores que generan los excrementos y que causan enfermedades en el ganado.

Desventajas.

- Debe evitarse cambios bruscos de temperatura, manteniéndola constante y cercana a los 35 °C.
- Se puede generar ácido sulfhídrico, lo que resulta corrosivo para el biodigestor.

- Si no se tiene un monitoreo constante de la presión interior, puede explotar o generar fugas de gas.
- El tiempo de durabilidad depende del tipo de biodigestor a construir.

6.21 Diseño

El diseño de los biodigestores debe responder tanto al lugar como el grado de aplicación y a la finalidad de la tecnología aplicada. Conociendo la región, la localidad, y el lugar donde se va a estar ubicada la planta, y en función al material de carga que se dispone y que se va a tratar, o de acuerdo a las necesidades de producción, se seleccionará el sistema de digestión más adecuado.

Esta tecnología puede ser elaborada dependiendo a los requerimientos del lugar, por lo cual se establecen algunos criterios:

Necesidad de combustible.

Necesidades medioambientales.

Generación de fertilizante natural.

Estiércol disponible

Para (Herrero Marti, 2008) El estiércol fresco es la mejor materia prima utilizada para la producción de biogás. Además se pueden usar cualquier otro tipo residuos orgánicos, evitando residuos duros (cascaras duras) o de larga duración de descomposición. El estiércol con mayor capacidad de generación de biogás es el porcino y las excretas humanas, pero el fertilizante que producen es muy ácido. El estiércol más utilizado y que ha dado buenas respuestas es el vacuno, por ser un estiércol equilibrado en su composición, además por animal se produce gran cantidad de estiércol, y por tanto es el más fácil de recoger.

Ganado	Kg de estiércol fresco producido por cada 100 kg de peso del animal
Cerdo	4
Bobino	7
Caprino	4
Conejos	3
Equino	7
Humano adulto	0,4kg por adulto
Humano niño	0,2 kg por niño

Tabla 3: Producción de estiércol fresco diario

Fuente: (Herrero Marti, 2008)

Temperatura y tiempo de retención (tr).

Es el tiempo que requieren los microorganismos para degradar toda la materia orgánica y generar los productos de dicho proceso. El tiempo de retención depende exclusivamente de la temperatura del lugar o región donde se vaya a construir el biodigestor. Así, a menores temperaturas se requiere un mayor tiempo de retención para generar los productos de la digestión.

Tabla 4: Tiempo de retención según la temperatura

Región característica	Temperatura (°C)	Tiempo de retención (días)
Trópico	30	15
Valle	20	25
Altiplano	10	60

Fuente: (Herrero Marti, 2008)

7. Hipótesis

La Finca Las Palmas del Municipio de San Juan del Rio Coco Departamento Madriz produce la cantidad de biomasa de estiércol porcino necesaria que permite disponer de un potencial energético para la implementación de un biodigestor de tipo tubular para producción de biogás y así disminuir el consumo de leña y por ende la emisión de CO₂.

Capítulo III

8.1 Diseño metodológico.

8.2 Tipo de estudio.

Según el estudio el enfoque de este tipo de investigación surge de un enfoque cuantitativo por el uso de instrumentos de recolección de la información, análisis y vinculación de datos (Cascante, 2011).

Según el tiempo de ocurrencia de los hechos y registros de la información, el estudio es prospectivo, este registra la información según van ocurriendo los fenómenos (Pineda, De Alvarado, & De Canales). y según el nivel de profundidad de conocimiento es descriptivo porque son aquellos que están dirigidos a determinar "cómo es" o "cómo está" la situación de las variables que se estudian en una población.

Según el período y secuencia del estudio realizado es (transversal) Según este criterio de clasificación, los estudios pueden ser transversales y longitudinales. Una investigación es transversal cuando se estudian las variables simultáneamente en determinado momento, haciendo un corte en el tiempo. En este caso, el tiempo no es importante en relación con la forma en que se dan los fenómenos (Pineda & et al).

Son estudios experimentales que no cumplen con el requisito de control de variables a través de un grupo control o de la asignación aleatoria, o ambos. El propósito de este diseño es el mismo del experimental: determinar si la aplicación de la variable independiente produce un cambio en la variable dependiente.

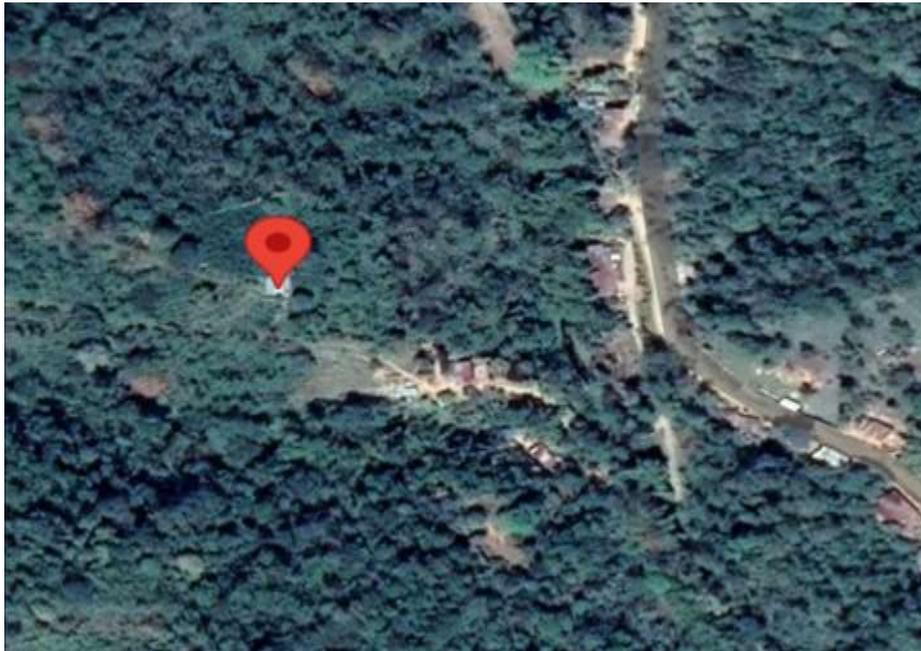
Alcance de la investigación

Correlacional: Este tipo de estudios tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular (Hernández Sampieri, 2014).

8.2.1 Área de estudio

8.2.2 Ubicación geográfica

La presente investigación se llevó a cabo en el Municipio de San Juan del Rio Coco departamento de Madriz en la Finca Las Palmas donde se realizó la recolecta de datos de los sustratos porcinos.



13.538387, -86.140390

Figura 10: Ubicación geográfica.

Fuente: (tomada de Google Maps)

8.2.3 Área de conocimiento

El área de estudio a la que pertenece el tema de la presente investigación es el Área: Ingeniería, Industria y Construcción y se inscribe a la Línea de Investigación N°1. Innovación, Tecnología y Medio Ambiente, y responde a la sub línea N°1.1. Energías Renovable de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-MANAGUA),

Facultad Regional multidisciplinaria (FAREM-ESTELI), y aprobado por el Consejo Universitario, en sesión 14-2021, del 09 de julio de 2021.

8.3 Universo y ámbito

Para (Tamayo, 2012) define el universo como un conjunto o la totalidad de un grupo de elementos, casos u objetos que se quiere investigar.

La población

El objeto de estudio está definido por las fincas que pertenecen a la comunidad de las Palmas del municipio de San Juan del río Coco y se determinó como unidad experimental la Finca Las Palmas la cual cuenta con una granja de cerdos que actualmente tiene 10 crías de cerdo, 2 cerdos hembras para la reproducción 2 cerdos machos verraco y 10 cerdos grandes de crianza para un total de 24 cerdos.

La muestra

La muestra se basa en un solo tipo que da origen a un mismo sustrato (Residuo porcino). Las muestras consideradas en el estudio fueron de (204, 232, 237 gramos) cantidad de sustrato porcino orgánico para su balance de masa, para la determinación de las propiedades básicas de la materia. 12.2 libras del sustrato para la relación 2:1, tomando en cuenta que el reactor tiene una capacidad de 25 litros con una repetición para la caracterización del sustrato.

Las unidades experimentales

(material receptor, al cual se aplica el tratamiento en un solo ensayo) con el fin de cumplir con el objetivo de investigación cuyos instrumentos fue un biodigestor tipo Bach, medidor de PH medidor de temperatura.

8.4 Matriz de operación de variables

Objetivo general

Evaluar la generación de biogás, a partir del sustrato porcino mediante el proceso de digestión anaerobia.

Objetivos	Variable	Indicador	Técnicas de recolección de datos
<p>Caracterizar las propiedades básicas del sustrato porcino orgánico que permiten la generación de biogás.</p>	<p>1.1 Humedad 1.2 Solidos totales en la masa seca 1.3 Sólidos volátiles 1.4 Solidos fijos</p>	<p>1.1 Cantidad de agua en el sustrato porcino 1.2 Peso de la materia seca que queda después del secado 1.3 Es aquella porción de solidos totales que se libera de una muestra 1.4 Material que no será transformado durante el proceso y el peso que queda después del encendido</p>	<p>Experimento de laboratorio</p>
<p>Determinar la producción de biogás generado en un biodigestor tipo Bach a partir del sustrato porcino.</p>	<p>1.1 Biogás generado 1.2 Tiempo de retención</p>	<p>1.1 Cantidad de biogás en litros 1.2 Tiempo en que inicia a degradarse</p>	<p>Experimento de Campo y de laboratorio</p>

<p>Analizar el efecto de la temperatura y el pH en la producción de biogás que se obtiene en el proceso biológico de digestión anaerobia.</p>	<p>1.1 Temperatura 1.2 PH</p>	<p>1.1 Temperatura en grados Celsius 1.2 Acido básico o neutro</p>	<p>Experimento de campo</p>
<p>Proponer un biodigestor de tipo tubular para el tratamiento de estiércol porcino para la granja de la Finca Las Palmas del Municipio de San Juan de Rio Coco”</p>	<p>1.1Cantidad de biomasa 1.2Cantidad de mezcla de agua. 1.3Dimensiones del biodigestor.</p>	<p>Cantidad de estiércol porcino necesario para alimentar un biodigestor Caudal orgánico Medidas de la fosa del biodigestor</p>	<p>Investigación de campo y de bibliografía.</p>

8.5 Métodos, técnicas e instrumentos para la recolección de datos e información

En primer lugar, la observación, por ser fundamental en todos los campos de la ciencia. La observación basada en el uso sistemático de nuestros sentidos orientados a la captación de la realidad que se quiere estudiar. Se llevó a cabo un registro y se formalizó la observación encaminada a seleccionar, organizar y relacionar los datos referentes al estudio de la caracterización de los sustratos y a la producción de biogás. Los medios que se utilizaron para registrar la información son: cuaderno de campo, diario, computadora portátil, cuadros de trabajo.

Para lograr el objetivo específico número 1: Caracterizar las propiedades básicas del sustrato porcino orgánico que permiten la generación de biogás.

El procedimiento a seguir fue de acuerdo a la metodología utilizada por (Reyes Aguilera, 2019). Primeramente, se realizó la selección del sustrato. Este se escogió tomando en cuenta los siguientes criterios

1. La materia se debe encontrar en abundantes cantidades.
2. Debe tener bajo costo de adquisición (o nulo).
3. Debe representar un factor de contaminación ambiental.
4. Debe producir una cantidad de biogás razonable.

Se elige como sustrato para la producción de biogás los residuos orgánicos de estiércol de cerdo que se genera en el Municipio de San Juan del Rio Coco en la granja de la Finca Las Palmas donde se utilizó un recipiente de 10 litros para la recolección de las muestras. En principio se realiza la recolección húmeda esta fue transportada al laboratorio de Energías Renovables donde se realizaron los respectivos análisis.

Por consiguiente, el estiércol porcino dentro del laboratorio se realizó la selección de tres muestras. En esta etapa se realizó el pesaje de las muestras utilizando una balanza analítica Acculab.

Posteriormente se introdujeron en un horno en capsulas de porcelana, a una temperatura de 105°C durante un intervalo de 8 horas.



Figura 11: Pesaje de la muestra.



figura 12: Muestra de hornó a 105°C.

Luego se enfrió a temperatura ambiente para posteriormente aplicar el proceso de pesado en la balanza analítica para conocer el porcentaje de humedad y masa seca respectivamente, para luego ser introducida nuevamente en el horno a una temperatura de 550°C durante 6 horas. Una vez concluido el proceso de secado se procedió a la extracción de las muestras, pesándolas para conocer el porcentaje de cenizas y el contenido de sólidos volátiles presente en las muestras.



Figura 13: Muestras en horno a 550°C.

El porcentaje de humedad: se determinó mediante la siguiente ecuación:

Para calcular el porcentaje de humedad se emplea la fórmula utilizada por (Castillo Atiaga, (2012)) el cual cita el laboratorio de Suelos y Aguas de Sáenz Peña (2005), la fórmula a aplicar es la siguiente:

Determinación del porcentaje de humedad.

$$\% \text{Humedad} = \frac{A-B}{A-C} * 100$$

Dónde:

A = Peso del crisol más la muestra húmeda (g).

B = Peso del crisol más la muestra seca (g).

C = Peso del crisol (g).

De esta manera se pudo obtener para la totalidad de las muestras un porcentaje de humedad en peso, relacionada a la muestra húmeda. El secado a 105 °C durante 8 h se realiza para asegurar la evaporación del agua contenida en el material.

Cálculo para la determinación del porcentaje de cenizas

Para obtener el porcentaje de cenizas se emplea la fórmula utilizada por (Castillo Atiaga, (2012)) el cual cita a la norma peruana NTE 0.544 (2006).

Este procedimiento se realizó dentro de un horno hermético a una temperatura igual o mayor a 550°C donde se romperán los enlaces de la materia orgánica, pasando por un proceso de pirolisis, hasta su gasificación casi total.

Al suceder el proceso de determinación de cenizas, la masa se separó en dos partes: sólidos volátiles y cenizas. Cabe destacar que durante la gasificación de la materia se espera que las cenizas queden, y los sólidos volátiles se escapen en forma de gas. Una vez finalizada la combustión del material se procedió a medir la masa de la ceniza.

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{CC-W}{CS-W} * 100$$

Dónde:

CC = Peso del crisol más la ceniza (g).

W = Peso del crisol vacío (g).

CS = Peso del crisol con la muestra seca (g).

Para lograr el objetivo específico número 2 Determinar la producción de biogás generado en un biodigestor tipo Bach a partir del sustrato porcino:

Para realizar la fase experimental se preparó un prototipo de biodigestor tipo Bach de 20 litros de capacidad este recipiente se acondicionó realizando dos perforaciones cada orificio va a tener diferente diámetro que va a corresponder a la salida de biogás, la salida de los residuos.

Para la salida de los residuos se perforó el orificio a media pulgada de la base del recipiente, asimismo se utilizó accesorios que consiste en, tubos PVC una llave de paso, para la salida del biogás se realizó un orificio en la tapa manguera para gas, para las uniones de los accesorios se utilizó cinta teflón de ½, para evitar Posibles fugas del sistema. Luego, estos accesorios fueron sellados con silicona además antes del llenado con el sustrato se le realizó un llenado con agua para asegurarse de que no se existieran fugas.

Para el almacenamiento del gas se utilizó un sistema de manguera que va conectado al neumático, cabe destacar que dispone de un filtro de purificación de gas para que la llama

sea volátil ya que si no se coloca el filtro esta es de color amarillo siendo un gas de menor calidad con una combustión incompleta.



Figura 14: Unidad experimental.

Para cargar el reactor tipo Bach de materia orgánica, se procedió a recolectar el estiércol de cerdo de la granja de la Finca Las palmas del Municipio de San Juan del Rio Coco y se aplicó las relaciones de (sustrato agua) con valores específicos que se determinaron una vez iniciada la fase experimental. Se aplicó la relación 2:1, es decir por cada 2 kilogramos de sustrato, un litro de agua potable, se mezclaron y agitaron en un recipiente para lograr homogeneidad. El reactor tiene capacidad de 20 litro, se utilizó el 75% para la cámara líquida y el 25% para cámara gaseosa.

El volumen de biogás generado se midió utilizando la técnica de desplazamiento de agua. Para la realización de esta prueba se usaron instrumentos de laboratorio tales como: base soporte, nuez doble, y una probeta graduada de 500 ml. Este método consiste en introducir la probeta en un recipiente con agua y dentro de ésta se coloca la manguera de salida del gas hasta la parte superior. La presión del gas hace que el nivel del agua en la probeta se desplace hacia abajo, por lo tanto, se mide la cantidad de biogás obtenida de los sustratos.

Para lograr el objetivo específico número 3: Analizar el efecto de la temperatura y el pH en la producción de biogás que se obtiene en el proceso biológico de digestión anaerobia.

Para medir el pH se utilizó un PH-metro del Laboratorio de Ingeniería en energías renovables de la UNAN Managua Farem Estelí, La medición se realizó todos los días de la semana durante 30 días. Se tomó la muestra abriendo la llave de paso, para evitar que cuando se hacia la medición se reduzca la cantidad de biol en el interior del biodigestor y pueda haber intercambio de gases con el ambiente. Los resultados fueron apuntados en una libreta de campo, para posteriormente ser transcritos en la base de datos De Excell Para ver su valor posteriormente ya que el valor óptimo para la digestión metanogénica es de 6.5 a 7.5, cuando baja de 5 o sube de 8 puede inhibir el proceso de fermentación o incluso detenerlo.



Figura 15: medición de PH.

Temperatura

La medición de la temperatura interna del biodigestor se tomó 1 vez por día durante 3 semanas, con un termómetro digital marca TESTO del Laboratorio de Ingeniería en energías renovables de la UNAN Managua FAREM Estelí el cual estaba insertado directamente en la parte superior del biodigestor para conocer el régimen de operación de temperatura del biodigestor, si es Psicofísicas Menos de 20°C, Mesofílicas entre 20°C y

45°C, Termofílicas más de 45°C. Los resultados fueron apuntados en una libreta de campo, para posteriormente ser transcritos en la base de datos de Excel.



Figura 16: medición de temperatura.

Para lograr el objetivo número 4 Proponer un biodigestor de tipo tubular para el tratamiento de estiércol porcino para la granja de la Finca Las Palmas del Municipio de San Juan de Rio Coco.

Necesidades de biogás de la Finca Las Palmas

Primeramente, se determinó la cantidad de leña utilizada por la vivienda de la Finca las Palmas en la zona Rural del Municipio San Juan del Rio Coco, se realizó el pesaje de la leña (**Ver figura 32 pesaje de la leña**) durante un intervalo de tiempo de 8 días donde se determinó el promedio del consumo de leña por día y se estableció de cuánto es la demanda de biogás que se necesita por día para la cocción de los alimentos.

Elección del lugar para la propuesta del biodigestor.

El biodigestor debe estar cerca del lugar donde se consumirá el gas se debe concentrar a una distancia cercana, donde se recogerán los sustratos porcinos su almacenamiento deberá ser muy cerca y con una pendiente adecuada para facilitar el transporte y salida del mismo. Se tomó en consideración varios aspectos de dicha Granja, la disponibilidad de materia prima.



Figura 17: Granja Finca las Palmas.

El tipo de biodigester que se tomó en cuenta fue el biodigester de tipo tubular.

Para poder realizar la propuesta del biodigester a nivel de la granja se ha estudiado un biodigester tipo Bach a escala de laboratorio en el cual se obtuvo las condiciones en que debe operar el biodigester a una escala mayor.

La Temperatura: Una de las ventajas del lugar en donde se realizó el biodigester a escala de laboratorio es que su temperatura promedio de acuerdo al clima de este lugar se encuentra entre 20 a 25°C siendo un clima templado y constante.

La dimensión del digester: Esto se pudo determinar en base al tiempo de retención y la cantidad de estiércol que la granja produce diariamente.

Para el dimensionado del biodigester Se realizó el pesaje del estiércol de los cerdos en una balanza análoga de 50 libras donde el peso obtenido se convirtió a kg donde se dejó un tiempo de 24 horas sin limpiar sus excrementos dentro de la granja para obtener la máxima cantidad de estiércol producido por día este proceso se realizó durante un tiempo de 8 días donde se obtuvieron 8 pesos diferentes de estiércol porcino donde se determinó el promedio de los pesos obtenidos. Cabe destacar que la granja cuenta con 6 chancheras donde entran de 5 a 6 cerdos y se cuenta con un total de 24 cerdos.



Figura 18: Pesaje del estiércol.

Para la alimentación del biodigestor se va usar una mezcla de estiércol más agua, con una relación 2:1.

Según (Carrasco, 2005), para el dimensionado del biodigestor emplea las siguientes ecuaciones.

La carga orgánica se determinó mediante la ecuación.

$$CO: Q * ST * SV *$$

Donde CO: Carga orgánica

Q: es el caudal

ST: son los sólidos totales

SV: son los sólidos volátiles

El siguiente procedimiento corresponde a la determinación de la velocidad de la carga orgánica se tomó en cuenta el rango de temperatura en que opero el biodigestor tipo Bach.

El volumen que debe tener el biodigestor se determinó con la ecuación.

$$V_{liq} = CO / VCO$$

Donde CO es la carga orgánica

VCO es la velocidad de carga orgánica

El tiempo de retención para una óptima producción de biogás se estableció mediante la ecuación

$$TRH = V_{liq}/Q$$

V_{liq} : volumen liquido

Q: caudal

Una vez encontrado el volumen del biodigestor se realizó el dimensionado de la fosa del biodigestor existen diferentes formas de fosas en este caso fue una trapezoidal que es una de las formas más practicas se tubo encuentra las condiciones del lugar para definir la profundidad el terreno, el talud o la inclinación y la fase liquida y gaseosa de la bolsa del biodigestor y la circunferencia de la bolsa.

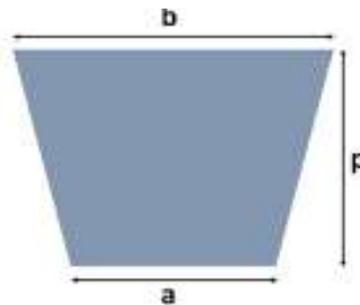


Figura 19: Diseño de Fosa trapezoidal.

Fuente: (Monar castillo, 2016)

La determinación del ancho mayor y ancho menor se determinó con la ecuación:

$$Am = C * \text{factor (a)}$$

$$am = Am - \text{factor (b)}$$

Donde C equivale al tamaño de la bolsa factor (a) y factor (b) son sacados de tablas (**Ver Anexo N°3: Factores para dimensionar la fosa**) estos valores dependieron del Angulo de

inclinación de la fosa y la profundidad. Una vez encontrados los valores de ancho mayor y ancho menor se determinó primeramente el área transversal para después aplicar la ecuación de largo de la fosa.

Donde la variable Pr equivale a la profundidad de la fosa.

$$AT = Am + am / 2 * Pr$$

$$L = V_{liq} / A$$

Relación costos beneficios de la producción de biogás

En el análisis de la rentabilidad del biogás, hay que tener en cuenta que este se encuentra en el campo de las fuentes energéticas, y en el de los abonos agrícolas. El análisis de la rentabilidad de la propuesta del biodigestor tipo tubular para la producción de biogás, se va a comparar con el gasto de GLP comúnmente para cocción de alimentos. Cabe mencionar que se tuvo en cuenta el valor de los materiales que se necesitan para la construcción del biodigestor y la inversión total.

Flujo de caja.

Para el desarrollo de los flujos de caja se realizan las siguientes consideraciones: Los flujos serán para 5 años, tiempo en el cual se estima la vida útil del biodigestor, debido al material que es polietileno de alta resistencia.

El análisis financiero se realizará en torno a dos indicadores económicos: TIR (Tasa interna de retorno) y VAN (Valor Actual Neto)

Criterios de decisión para el VAN

$VAN > 0$ El proyecto es aceptado.

$VAN < 0$ El proyecto es rechazado.

$VAN = 0$ El proyecto es analizado para aceptarlo o rechazarlo.

Criterios de decisión para el TIR

TIR > Costo del capital el proyecto es aceptado.

TIR < Costo del capital el proyecto es rechazado.

TIR = Costo del capital el proyecto es analizado para aceptarlo o rechazarlo.

La fórmula correspondiente para el cálculo del VAN, es la siguiente:

La fórmula correspondiente para el cálculo del valor de TIR es la siguiente:

$$VAN: \sum U_n(+cp)^{-m}$$

Donde:

VAN : Valor actual neto

$\sum U_n$: Sumatoria de los saldos de caja para cada periodo.

n: Periodo de analisis en años

cp: costo de capital

m: 1.2 etec Dependiendo de el año en cual se encuentre

La fórmula correspondiente para el cálculo del valor de TIR es la siguiente:

$$I = \sum U_m(1+TIR)^{-m}$$

I: Inversion inicial de el proyecto

$\sum U_m$: Sumatoria de los saldos de caja para periodos

n: Periodo de analisis de años TIR: Taza interna de retorno

m: 1.2 etec Dependiendo de el año en cual se encuentre

8.6 Plan de Tabulación

En esta etapa se llevó a cabo el procesamiento de la información a partir de los datos que fueron recolectados registrados en una base de datos diseñada en el programa software

Microsoft Excel para el análisis de los datos de porcentajes, y la elaboración de cuadros y gráficos según las variables de interés y los análisis estadísticos pertinentes

Capítulo IV

9. Resultados

9.1 Caracterizar las propiedades básicas del sustrato porcino orgánico que permiten la generación de biogás

Sólidos totales

Tabla 5: Sólidos totales muestra 1; 2; 3

Muestra	Peso Del Crisol	Peso De La Muestra Húmeda	Crisol + Muestra	Crisol + Muestra Seca	Sólidos totales %
1	538g	204g	742g	661g	37.70
2	536g	232g	768g	681g	37.5
3	515g	227g	742g	659g	36.56

Los residuos sólidos del estiércol de cerdo se caracterizan, en general, por su elevado contenido en humedad.

Los sólidos totales se refieren a los residuos del material que permanecen en el recipiente después de la evaporación de la muestra secada en el horno a una temperatura definida 105°C. Es un proceso muy empleado para tratar la fracción orgánica de los residuos urbanos, residuos animales y residuos agrícolas.

En el análisis realizado a las 3 muestras de estiércol de cerdo, se obtuvo que éstos estuvieron compuestos en su mayor parte de humedad y una pequeña parte correspondió a los sólidos totales Como se observa en los resultados obtenidos, el contenido total de sólidos (ST) se encontró entre los valores de 37.70 % en la primera muestra 37.5 % en la segunda muestra, y 36.56% en la tercera muestra donde , se obtuvo un promedio 37.27 %

de sólidos totales, las tres muestras estaban fuera del límite o dentro del rango reportado por (Varnero Moreno, 2011) que es de 15 a 49 % de sólidos totales En los residuos de granjas porcina .

Sólidos Volátiles.

Tabla 6: Sólidos volátiles muestras 1; 2; 3

Muestra	Peso Del Crisol	Peso De La Muestra Húmeda	Crisol +Muestra Incinerado	%Sólidos Volátiles	%de cenizas
1	538g	123g	567g	76.42	23.57
2	536g	145g	568g	77.9	22.7
3	515g	144g	549g	76.38	23.6

El porcentaje de cenizas y sólidos volátiles en base seca de los tres residuos estudiados.

Las cenizas, son compuestos minerales residuales que no son volatilizados. Del porcentaje de sólidos totales mostrados en la Tabla 5, éstos estuvieron conformados en mayor cantidad de sólidos volátiles o materia orgánica y aproximadamente una quinta parte de Cenizas (Tabla 6).) se encontró entre los valores de 23.57% en la primera muestra 22.7% en la segunda muestra, y 23.6% en la tercera muestra con un promedio 23.29% de cenizas En el caso de los residuos porcinos, el porcentaje de cenizas obtenido en este estudio, está un poco por debajo o inferior a lo reportado por (Varnero Moreno, 2011), quien establece un 23.67% .

Los sólidos volátiles, es la fracción de la materia orgánica capaz de volatilizarse (transformarse en biogás). El porcentaje de sólidos volátiles mostrados en la (Tabla 6) se encontró entre los valores de 76.42% en la primera muestra 77.9% en la segunda muestra, y 76.38% en la tercera muestra con un promedio 76.9% de sólidos volátiles. Los sólidos volátiles de estiércol de cerdo constituyen el 80% de los sólidos volátiles es decir en las pruebas de laboratorio realizadas los sólidos volátiles estuvieron por debajo de lo reportado por (Osorio Saras , Velasques Ciro, & Sanches González, (2007) esto indica que el

estiércol de cerdo tendrá una producción de biogás menor de lo habitual en el proceso de digestión anaerobia.

Prácticamente toda la materia orgánica es capaz de producir biogás al ser sometida a fermentación anaeróbica. La calidad y la cantidad del biogás producido dependerán de la composición y la naturaleza del residuo utilizado.

9.2 Determinar la producción de biogás generado en un biodigestor tipo Bach a partir del sustrato porcino.

Según las condiciones que intervienen en la producción del biogás producido a partir de estiércol porcino, se obtuvieron los siguientes resultados: peso de la materia orgánica de 7.5 kg, volumen de mezcla de 15. Litros, relación 2:1 estiércol-agua, pH del sustrato al iniciar el proceso de 6.5. en el siguiente grafico se aprecia los valores referentes a la producción de biogás conforme a los días de operación del biodigestor tipo Bach.

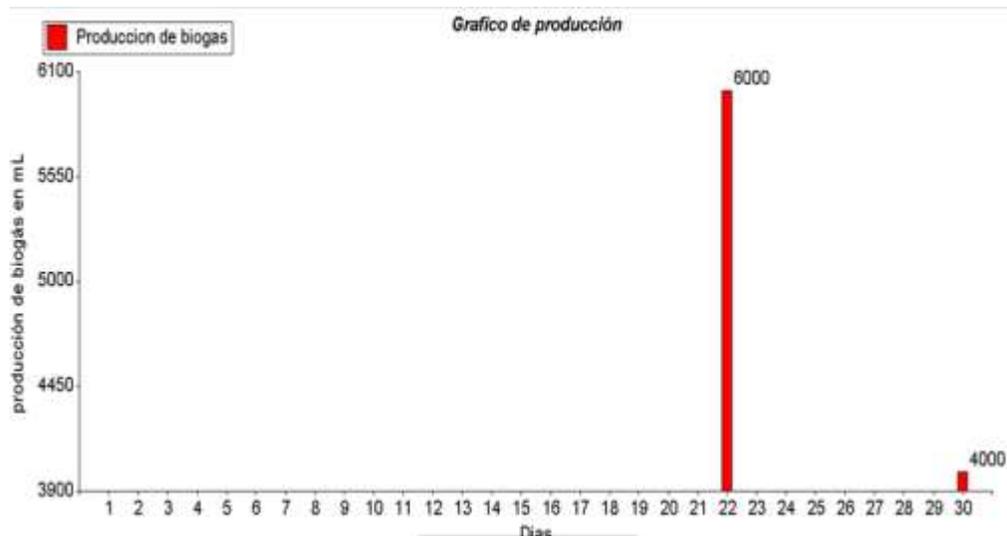


Figura 20: Producción de biogás en (ml).

Donde se observa la máxima cantidad producida en ml, así como también los niveles en el que el volumen producido de biogás comienza a decaer hasta finalizar su producción. Los valores de producción se han obtenido realizando mediciones en los días 21 y 30, obteniendo el volumen total producido del sustrato correspondiente a los días de medición, que conllevaron a obtener la producción total de los mismos, mediante el desplazamiento de agua. El sustrato porcino presenta mayor volumen de biogás generado, en el día 21, que

se realizó la primera medición con una producción total de 6,000 ml, equivalente a 6 litros de biogás, seguido por una segunda producción de 4,000 ml, equivalente a 4 litros. Se observa la producción a partir del día 21 que se realizó la primera prueba, fue en decadencia ya que en el día 30 se obtuvo menor cantidad de biogás.

9.3 Analizar el efecto de la temperatura y el pH en la producción de biogás que se obtiene en el proceso biológico de digestión anaerobia.

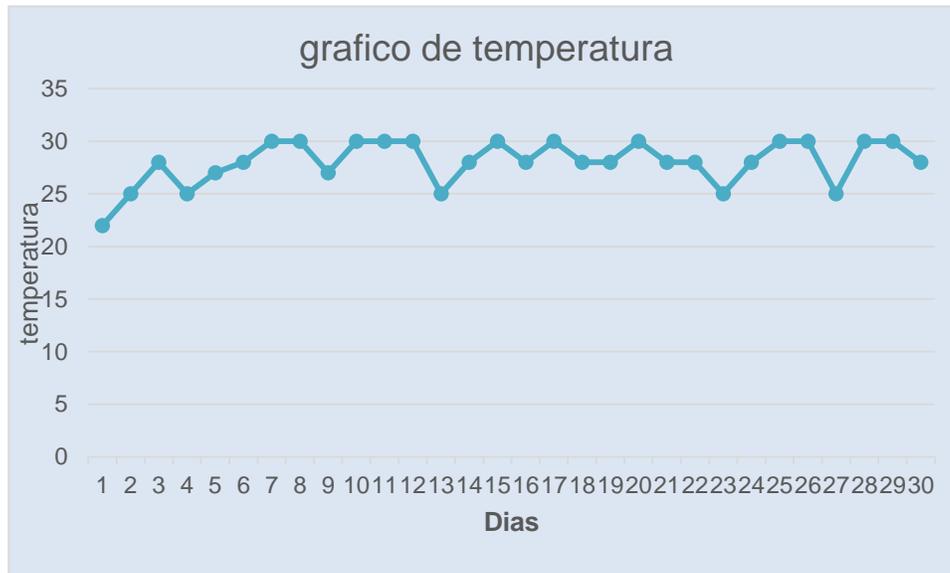


Figura 21: Temperatura de biodigestor.

La temperatura es un factor que influye en la generación de biogás: cuanto más caliente el ambiente, mayor es la velocidad y el grado de fermentación de la materia orgánica (Asankulova , 2008). La temperatura de operación del digestor, es considerada uno de los principales parámetros de diseño, debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de digestión anaeróbica.

La variable temperatura fue monitoreada de forma diaria, con el instrumento de medición (termómetro digital), y reflejó el valor de la temperatura interna del sustrato que se depositó en el reactor de acuerdo a las mediciones realizadas en campo se pudo determinar la temperatura promedio en los 30 días del proceso de producción de biogás. Durante el proceso de digestión anaerobia la primera temperatura mayor se obtuvo a los 8 días con un valor de 30 °C, y el promedio más bajo durante la producción de biogás se registró en el primer día con temperaturas de 22°C.

El grafico anterior muestra las temperaturas obtenidas del biodigestor esta muestra que se mantuvo de manera continua entre los valores de 25°C y 30°C.

La variable temperatura es considerada uno de los principales parámetros de diseño, es por tal motivo que los datos obtenidos se lo realizaron de forma diaria, y se puede decir que, el biodigestor en el que se realizó el proceso operó en el rango mesofílico, es decir entre 25 y 45°C determinado por (Lagrange, 1979). El biodigestor tipo Bach estaba ubicado al aire libre por lo cual la temperatura de operación no fue controlada no se detectaron variaciones bruscas dentro del digestor lo cual esto no provoco desestabilización total en el proceso, por tal motivo se considera excelente la temperatura obtenida.

El primer día su medición en campo correspondía a un valor de 22 °C, el día 30 en donde finalizó el proceso de digestión anaerobia el valor de la temperatura llegó a 30 °C, entonces se puede destacar que durante todo el ensayo los valores de temperatura fueron prácticamente subiendo, a pesar de que dicha elevación no haya sido uniforme, ya que al mismo tiempo en varios días se manifestaron algunos descensos de temperatura en dos grados máximo, con respecto al día anterior. A partir del día tres, se superó la barrera de los 25 °C y hasta el día final del ensayo no se llegó a valores superiores de los 30°C.

Si bien existió un aumento de temperatura de los valores en los 30 días de duración del ensayo, es también importante destacar que el promedio de los valores de temperatura se considera más importante si las variaciones de temperatura no exceden los 2°C por día. Esto debido a que para un óptimo funcionamiento del digestor las variaciones de temperatura no deben exceder los 0.6 – 2 °C /día para no alterar la sensibilidad del sistema según (Hilbert J. , 1993).

La fermentación anaerobia en principio es posible entre 3°C y 70°C. - El rango de temperatura psicrófila que está por debajo de 20°C. El rango de temperaturas mesofílicas que está entre 20 y 45°C c.- El rango de temperaturas termofílicas que es mayor a 45°C. Los biodigestores tienen un rendimiento satisfactorio cuando la temperatura promedio diaria es mayor a 18 °C. - Cuando la temperatura promedio está entre 25 y 31 °C, la producción de gas aumenta notoriamente. Si la temperatura del biodigestor está por debajo de 15°C, la producción del gas disminuye considerablemente.

PH y Alcalinidad

El Potencial Hidrógeno fue la variable de mayor fluctuación dentro del ensayo, el valor del pH del primer día de la carga fue de 6.5 un valor recomendable que esta entre (6 y 8) que es el óptimo, este valor fue ascendiendo hasta alcanzar un valor máximo de 7 durante todo el proceso. El primer descenso del PH significativo se produjo en el día 2 con un valor de (6) entre los días 7 y 12 (último día), se produjo nuevamente un descenso del PH significativo en estos días la variación de pH estuvo al límite del rango optimo, sin embargo, no se aplicó ninguna medida correctora para elevarlo.

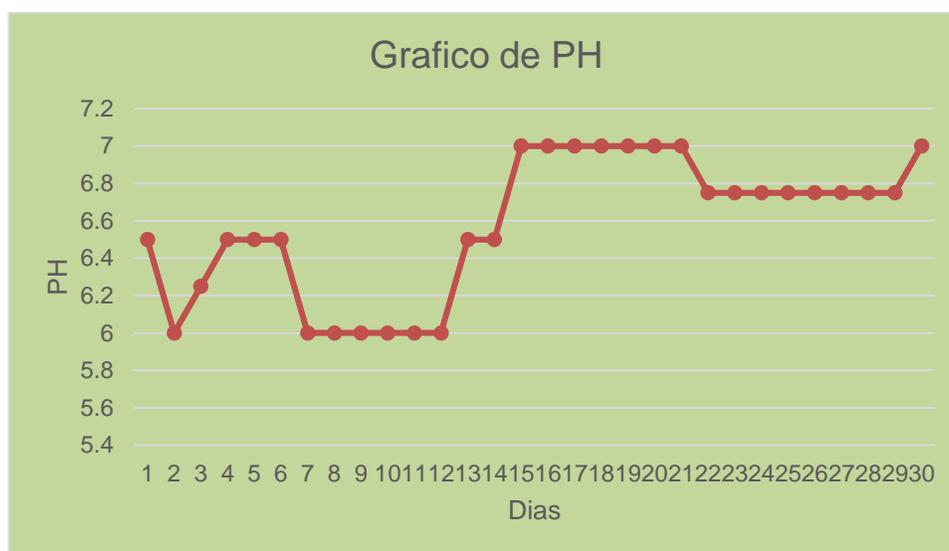


Figura 22: Rango de PH.

El presente gráfico representa el rango de PH en el que se estuvo moviendo en el proceso de 30 días el cual para lograr una mayor eficiencia del biodigestor es de 6 a 8 el cual este cumple con las medidas requeridas para su mayor aprovechamiento el cual nos indica que el biodigestor estaba operando correctamente esto permitió no correr el riesgo de que el proceso de fermentación se inhibiera y pudiera detenerse, similar a lo reportado por (Bedoya Justo, Chaparro Montoy , & Argume Sotomayor, 2016) quienes lograron obtener las mayores cantidades de biogás a pH entre 6.1 y 7.2. indicaron que el pH influye en la producción de biogás también coincide con otros estudios como el de (Parra Orobio, y otros, 2014) quienes encontraron las mejores producciones de metano con pH, entre 6.6 y 8.0 unidades.

El proceso anaeróbico es afectado adversamente con pequeños cambios en los niveles de pH (que se encuentran fuera del rango óptimo). Los microorganismos metanogénicos son más susceptibles a las variaciones de pH que los otros microorganismos de la comunidad microbiana anaeróbica.

Una de las consecuencias de que se produzca un descenso del pH a valores inferiores a 6 es que el biogás generado es muy pobre en metano y, por tanto, tiene menores cualidades energéticas, por tal motivo y debido a que la metanogénesis se considera la etapa limitante del proceso, es necesario mantener el PH del sistema cercano a la neutralidad.

Tabla 7: Valores promedios de PH en los intervalos de 10 días

Días	Promedio pH
1-10	6.2
10-20	6.6
20-30	6.8

Se apreció que el promedio de PH tiene continuidad en sus valores de intervalo el cual su proceso no se detiene y funciona de manera óptima con los parámetros establecidos de PH.

Para regular el pH en un proceso anaerobio se pueden emplear diferentes métodos: Adición de álcali (fundamentalmente cal o sosa). Adición de ácido (orgánico o inorgánico). Adición de agua residual al reactor. Disminución de la carga orgánica aplicada al proceso.

9.4 Proponer un biodigestor de tipo tubular para el tratamiento de estiércol porcino para la granja de la Finca Las Palmas del Municipio de San Juan de Rio Coco.

La demanda de biogás de la vivienda de la Finca de las Palmas es un factor importante antes de realizar el dimensionado del biodigestor los valores de pesos de leña que se obtuvieron durante los 8 días que se realizó el proceso de pesaje se aprecian en la figura 7

donde se determinó el promedio de la cantidad de consumo de leña en una jornada diaria de cocción de alimentos.

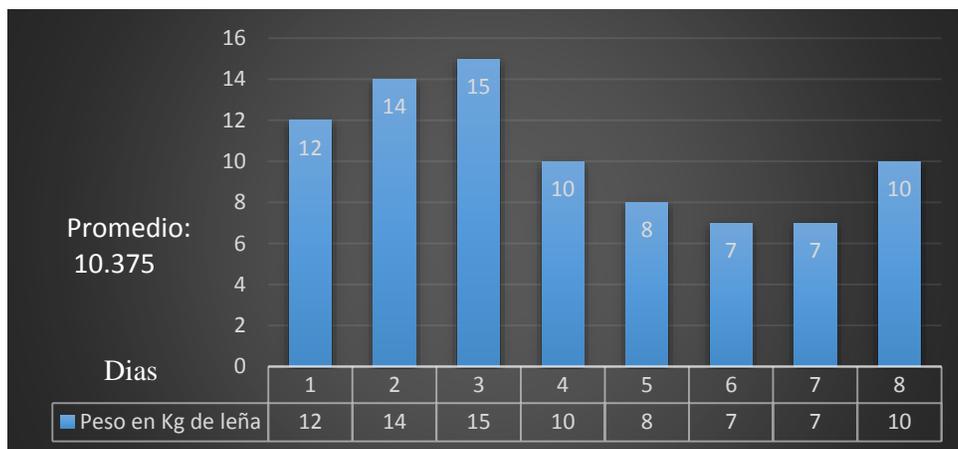


Figura 23: Pesos en Kg de la leña.

La demanda de biogás se definió en base a la energía consumida dentro de la Finca según (Tilley, y otros, 2008) define que 1 kg de leña con un 10 % de humedad corresponde a 200 litros de biogás. El valor de demanda biogás se obtuvo realizando esta relación con un promedio de 2 a 2.1 m³ aproximadamente.

Según las mediciones realizadas la granja está ubicada una distancia de 60 metros de la ubicación de la casa de la hacienda, la fuente de agua se encuentra a 2 metros de la granja se determinó un tipo de biodigestor tubular (**ver anexo Figura 21: biodigestor tipo tubular**) el cual se pretende ubicar a 10 metros de la granja para facilitar el lavado de las chancheras y el transporte del estiércol de cerdo.

Según los resultados obtenidos del dimensionado del biodigestor

El volumen total del biodigestor será de un 80% que equivale aproximadamente a llenar la zanja. Debido que en el proceso se genera biogás es necesario dejar un espacio para su almacenamiento que corresponde al 20%.

En el siguiente cuadro se muestran los pesos totales del estiércol porcino obtenido de la granja durante los 9 días en que se realizó el pesaje donde se obtuvieron 8 pesos diferentes determinándose un promedio de 70 kg para dimensionar la propuesta del biodigestor. Cabe

destacar que para iniciar este proceso primeramente se realizó una limpieza de las cancheros de la granja iniciando el proceso de este sin limpiar sus excrementos de 7 am del primer día a 7 am del siguiente día donde se obtuvo el pesaje total por 24 horas.

Tabla 8: Pesos totales y promedio del pesaje de estiércol porcino de la granja de la Finca las Palmas

Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Peso 5	Peso 6	Peso 7	Peso 8	Promedio
70 kg	73 kg	72 kg	65 kg	70 kg	60 kg	73 kg	77 kg	70 kg

En el siguiente cuadro se muestran en resumen los resultados obtenidos de los cálculos de las dimensiones que tendrá el biodigestor.

Tabla 9: Dimensiones que tendrá el biodigestor

Cantidad de estiércol porcino por día	Caudal en Kg/m ³	Carga orgánica CO: $Q * ST * SV$	Velocidad de carga Orgánica	Volumen liquido $V_{liq} = CO / VCO$	Tiempo de retención Hidráulico V_{liq}/Q	Biogás producido por día(m ³)
70Kg	105Kg 0.105m ³	3.2Kg Sv/D	0.9 m3	3.5m ³	30 días	2.3 (m ³ /d)

El caudal se obtuvo mediante la relación agua estiércol 2.1 los sólidos totales y solidos volátiles fueron valores tomados de las pruebas de laboratorio realizadas del estiércol de cerdo donde se tomó el promedio de 76.9% de solidos volátiles la velocidad de carga orgánica se obtuvo mediante el promedio de temperatura en que opero el biodigestor tipo Bach donde se encontró una relación entre 0.8 y 1.0 encontrados en la tabla (**ver anexo Temperatura de la fase liquida del biodigestor**)

Donde se determinó un promedio de 0.9 m^3 para el tiempo de retención se tomó en cuenta los valores del volumen líquido y el caudal la producción de biogás que se tendrá al día será de (2.3 m^3) teniendo en cuenta que 1Kg de estiércol porcino produce 0.028 m^3 de gas.

Tabla 10: Resultado de las dimensiones de la zanja

Circunferencia de Ancho de bolsa (m)	Ancho mayor (m)	Ancho menor (m)	Profundidad (m)	Área transversal (m^2)	Largo (m)	Talud ($^\circ$)
1m	1.32m	0.25m	1 m	1.2 m^2	3 m	20 $^\circ$

La zanja es un elemento esencial para el buen funcionamiento del biodigestor ya que las paredes de ésta soportarán la presión que ejerce el volumen líquido en este caso se consideró una zanja de tipo trapezoidal. La profundidad será definida por las condiciones del sitio es decir si hay impacto de agua que puedan inundar la zanja o si el terreno presenta rocas que no permitan realizar la perforación de la zanja de acuerdo a las condiciones del terreno es un suelo arcilloso se asumió que se puede realizar zanjas de 1m la inclinación que se tomó para la zanja fue 20 $^\circ$.

Con los parámetros ya establecidos se necesitó sacar valores de la siguiente tabla (**ver anexo 2 Profundidad y talud de la fosa**) para tener la mayor eficiencia volumétrica donde se trabajó con una fase gaseosa de 20% y una fase líquida de 80% con una zanja de 1m se tendría una eficiencia volumétrica de un 76% para aprovechar al máximo la bolsa. La tubería de entrada tendrá una inclinación de 30 grados sobre la horizontal y la salida de 45 grados sobre la horizontal. El volumen de la mezcla tiene que tapar la entrada de aire por tanto mínimamente tiene que estar a una altura de 40cm más el diámetro del tubo, con una salida de 20cm sobre la altura del suelo.

Una vez establecidos estos parámetros se determinó el factor (a) 0.27 y el factor (b) 1.1 que fueron los factores que se determinaron para dimensionar la zanja estos valores se muestra en (**ver Anexo Tabla 3: Factores para dimensionar la fosa**) que dependieron del talud o inclinación la profundidad y la proporción de la bolsa del biodigestor. Si se implementara la

propuesta del biodigestor se debe de tener en cuenta que la fosa debe ser rellena con un colchón de paja y cubrir las paredes y el fondo de la fosa con una carpa de plástico con el objetivo de conseguir una superficie blanda para evitar cualquier perforación de la bolsa del biodigestor.

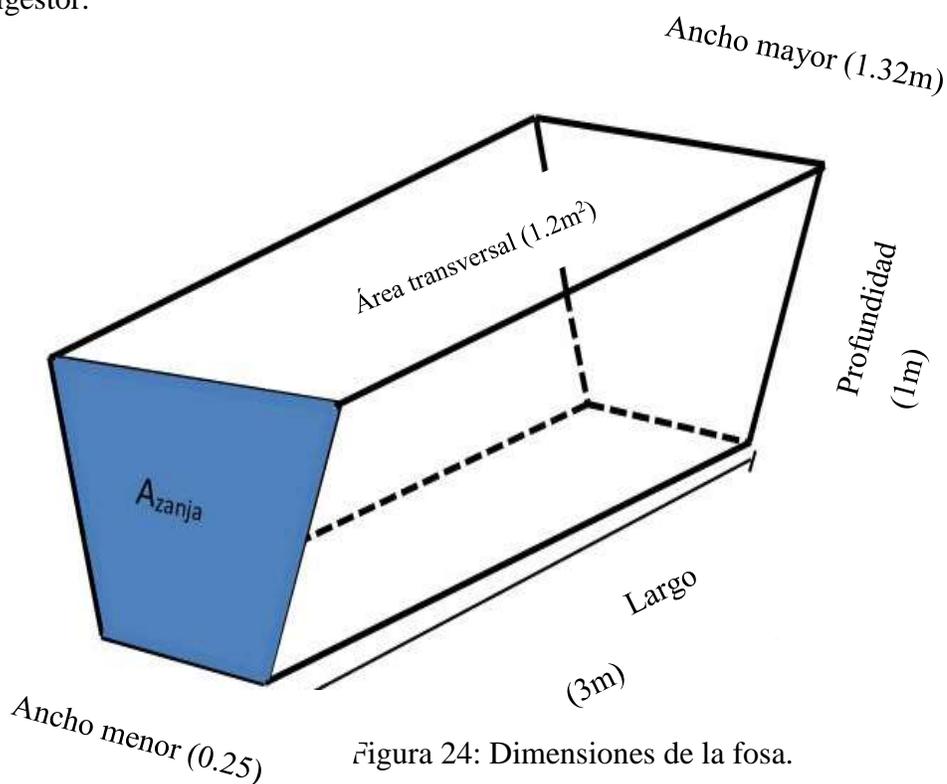


Figura 24: Dimensiones de la fosa.

La producción de biogás que se tendrá si se implementará el biodigestor tipo tubular será de 2.3 m³ si la cantidad de leña requerida para la cocción de alimentos en promedio es por día de 10.375 kg y según (Tilley, y otros, 2008) 1 kg de leña corresponde a 200 l de biogás El consumo de gas para cocinar por persona y por comida es de 300 l de biogás aproximadamente .En el aspecto sustitutivo de la leña como materia prima en la cocción de alimentos en la Finca las Palmas se determinó que es sumamente importante implementar el biogás por ser este capaz de dicha sustitución lo que se afirma con la siguiente relación ya que un metro cubico de biogás sustituye unos 5 kilogramos de leña y con la producción diaria del biodigestor se solventara la demanda de biogás completamente además se debe tener en cuenta que en los fogones tradicionales la eficiencia no es del 100% según (Torrez, 2005) existen perdidas de energía entre el 30 y 90 % con una eficiencia del 5 al 17%.

La producción de biogás que se obtendría si se implementara el biodigestor será de uso familiar y también de los trabajadores ya que con la cantidad estimada de producción de biogás es más que suficiente cocinar para las personas que habitan en la Finca y trabajadores (Varnero Moreno, 2011) afirma que con 1.5 m³ de biogás se puede cocinar durante 5 horas tiempo suficiente para preparar los alimentos constando que el biodigestor producirá 2.3 m³ es decir se podrá cocinar más de 6.5 horas al día con esta producción de biogás.

Según (Wahid & Hosseini, 2014) 1m³ de biogás es = 0.45kg de GLP 2.3 m³/d de producción que se tendrá con el biodigestor tubular producirán 31.05 kg GLP/mes y 372 kg al año de GLP.

Un tanque tradicional de cocina en Nicaragua tiene la capacidad de almacenar 25lb de GLP es decir 11.33 kg de GLP, según los datos obtenidos de la producción de GLP/mes se obtendrán 2.7 tanques de gas al mes y al año se producirán 32 tanques de gas.

Relación costos beneficios de la generación a través de biogás

Presupuesto estimado

Tabla con los posibles costos que llevan a la implementación de generación biogás en la Finca.

Los precios reflejados en la siguiente tabla, están sujetos a la disponibilidad de los productos

Tabla 11: Presupuesto de biodigestor

Lista de materiales	Unidades	Total
Bolsa plástica de polietileno transparente de 16 milésimas de Grosor	1	4,000C\$
Tubos PVC de 4 pulgadas de 1.5 m	2	300C\$

Tubo PVC blanco ½” (El largo depende de la distancia de la cocina al biodigestor)	60 m	770C\$
Unión roscada de PVC de ½”	1	20 C\$
Codos PVC ½	2	20C\$
bote de silicón	1	120 C\$
Pegamento PVC	1	80 C\$
Adaptadores macho y hembra pc de 3/4	4	40C\$
Arandelas metálicas de 1/2	3	20C\$
Plástico aislante para las paredes de la fosa	4 m	105C\$
Baldes plásticos para entrada de la mezcla y salida del Biol	2	200C\$
Zinc de 12 pies de largo para la caseta del biodigestor	2	980C\$
Alfajías para soporte del el techo	6	1200C\$
Clavos	2 libras	100C\$
Total		C\$ 7,955 es decir 227 \$ dólares

Los materiales a utilizar en la propuesta del biodigestor fueron un presupuesto estimado por las ferreterías cercanas al lugar excepto la bolsa plástica de polietileno que el precio fue facilitado por la microfinanciera Fundenuse S, A. De san Juan del Rio Coco el coste de la mano de obra para la construcción del biodigestor y la realización de la fosa se estimó una mano de obra de 100 \$. Por su parte, el biodigestor requiere que diariamente sea alimentado, y la realización de las diversas actividades de operación del biodigestor requieren de un costo para su correcto funcionamiento se pudo determinar que para la

operación se necesita de 20 minutos diarios para el llenado y descarga del biodigestor el cual en la semana una persona hace 140 minutos es decir 2.3horas dándole un costo de 60\$ al año es decir 14 días de trabajo completo asumiendo que la jornada laboral cuenta con 8 horas de trabajo. Es decir, para una suma total de biodigestor y mano de obra y costo de operación se obtuvo un total 387 \$.

Costos de oportunidad de la utilización de biogás.

Se pueden determinar los costos requeridos para la cocción con leña, otorgándole un valor económico únicamente al precio del tanque GLP de 25 libras con un precio actual de 430 C\$ si en el mes se obtendrán 2.7 tanque de gas se tendrá un ahorro 1,161 C\$ al año de obtendrá un ahorro de 13,932 C\$.

Los flujos serán para 5 años, tiempo en el cual se estima la vida útil del biodigestor.

Los ingresos correspondientes son de 398 \$/AÑO, a este valor se incrementa la cifra correspondiente a la inflación, año tras año.

Los egresos provienen del costo de construcción del biodigestor, cuyo valor es de 310.14 C\$USD. A esta cifra se lo divide en dos partes:

El primer valor correspondiente a los costos directos (327 \$). El segundo valor corresponde a los costos indirectos (60\$).

El valor de la inversión para la instalación y puesta en funcionamiento del biodigestor se divide en 5 años.

El costo del capital es del 6%

Tabla 12: Resultados de VAN y TIR

	Inversion Inicial	1	2	3	4	5
Ingreso		398	421.88	447.1928	474.024368	502.46583
Egreso		60	63.6	67.416	71.46096	75.7486176
Ingreso Neto	-387	338	358.28	379.7768	402.563408	426.717212
Tiempo de recuperación de la inversion 1.1 años		-49	309.28	689.0568	1091.62021	1518.33742

Introduciendo los valores a el programa Excel se determinó que los ingresos y egresos aumentan cada año debido a la inflación que se produce por el aumento de salario en la aplicación las ecuaciones de VAN se obtiene un valor de 1,139 \$ Y UNA TIR de 88% lo que refleja valores positivos esto indica que, en el escenario planteado, para la propuesta del biodigestor es rentable. Además, se puede ver que el periodo de recuperación de la inversión se da en 1.1 años.

Impacto ambiental

Según (Ssase, 1989) 1 m³ de biogás utilizado para cocción imposibilita la deforestación de 0.335 hectáreas de bosques con un promedio de 10 años de vida de los árboles. Si el biodigestor tubular produce 2.3 m³ de biogás al día, 828 m³ al año, dejándose de cocinar con leña se evitaría la deforestación de 277 hectáreas de bosques cada año si se pusiera en funcionamiento este tipo de biodigestor.

Según (Wahid & Hosseini, 2014) la combustión de biogás produce dióxido de carbono, un GEI 21 veces menos impactante que el metano que se libera cuando el estiércol animal se deja en el campo sin ningún tratamiento, además, esta combustión genera menos emisiones que la biomasa tradicional, como es el caso de la leña que es empleada principalmente en hogares rurales Sin embargo, como indican la captura y manejo del biogás, se debe realizar de forma apropiada, para de esta manera, evitar la liberación de grandes cantidades de CO₂ y CH₄ en el ambiente, La energía efectiva de 1 kg de leña es de 0,21 kWh/kg, estimando el poder calorífico de la misma en 1.500 kJ/kg. Para el carbón, este valor varía notablemente en función del tipo y procedencia del mismo. Un valor medio, sin embargo, puede ser de 0,75 kw/kg. (ecologia practica, 2003)

En la Finca las Palma se emplea principalmente y casi que únicamente la leña. La cocción con leña estaba presente en un 100% no obstante, la obtención de este material tiende a ser a partir de árboles que se encuentran dentro de las de la finca, por lo que los beneficios económicos que representa la sustitución de la quema de leña por el biogás si aportarían en la economía familiar.

Capítulo V

10. Conclusiones

Con la realización del ensayo para la caracterización de las propiedades básicas de la materia orgánica utilizada (sustrato de cerdo) las muestras de los sólidos totales estuvieron dentro del rango óptimo que favorece en la producción de metano y sólidos volátiles estuvieron en los rangos un poco por debajo de lo establecido, pero en las medias obtenidas de las muestras no hubo diferencia significativa.

La mayor cantidad de biogás producida se obtuvo el día 21 durante la fase experimental del biodigestor tipo Bach y su declive completamente de producción de gas se obtuvo el día 30.

La temperatura interna promedio obtenida de la fase experimental se mantuvo dentro de un rango mezofílico donde no se encontró un aumento ni disminución es decir no se detectaron variaciones bruscas de temperatura dentro del biodigestor.

En cuanto al comportamiento del PH no hubo variaciones bruscas es decir se mantuvo entre los rangos óptimos de neutralidad en el proceso de digestión anaerobia lo que favoreció que el proceso de fermentación para que no se inhibiera y pudiera detenerse.

La llama obtenida de la quema de biogás generada por el biodigestor fue de color azul y amarillento debido a que el biodigestor no se le instaló un filtro adecuado que permita absorber el CO_2 y CO .

La propuesta de un biodigestor con medidas apropiadas y materiales adecuados contribuyen a que el producto final que se obtenga será de calidad garantizada para la aplicación a la granja de la Finca las Palmas del Municipio de Sanjuán Río Coco siendo una alternativa adecuada siempre y cuando este bien realizado y bajo condiciones y parámetros adecuados.

Según los cálculos obtenidos de VAN y TIR fueron positivos, la propuesta de un biodigestor es viable dado que el tiempo de recuperación de la inversión es a mediano plazo.

Con las cantidades de estiércol porcino producido en la granja se tiene la capacidad de llevar a cabo la implementación de un biodigestor de tipo tubular de pequeña escala.

11. Recomendaciones

La utilización de un biodigestor tipo tubular en la Finca las Palmas del Municipio de San Juan del Rio pueden evitar la contaminación producidas por el estiércol de cerdos o la disminución en la acumulación de estiércol a los alrededores de la granja, lo que repercute directamente en la mejora de las condiciones ambientales y en la calidad de vida de las personas que viven en la Finca disminuyendo los malos olores, así como las enfermedades.

Si se implementara la propuesta del biodigestor por seguridad revisar todos los componentes antes de poner en marcha el biodigestor ya que se estará manipulando gas y es un combustible volátil y de alto poder calorífico por lo que se deben tomar todas las seguridades.

En los biodigestores tipo tubular es recomendable utilizar una buena proporción de agua y estiércol y verificar si hay fugas para garantizar una buena fermentación y cumplir estrictamente con las condiciones anaerobias.

El biodigestor debe estar cerca del suministro de la materia prima además debe de estar cerca al lugar donde el biol deba ser almacenado.

12. Bibliografía

- Ahring, B. K., Sandberg, M., & Angelidaki, I. (1995). *Volatile fatty acids as indicators of process imbalance in anaerobic digester*.
- Amado Garcia, K. ((2009). *Codigestión Anareóbea de estiércol y lodos de depuradora para la producción de biogás*.
- Aqualimpia Engineering e.K. (08 de Agosto de 2017). *Fases de la digestión anaerobia*. Recuperado el 01 de Agosto de 2019, de <https://www.aqualimpia.com/digestion-anaerobica/>
- Ariza, C., Rueda Toncel, L., & Blanchar, J. (2018). Biodigestión anaerobia como alternativa energética para reducir el consumo de leña en las zonas rurales. *ESPACIOS*, 6.
- Asankulova , A. (2008). *Analysis of Factors Influencing Biogas*.
- Asofenix. (2008). Obtenido de <https://asociacionfenix.org/>
- Bedoya Justo, E., Chaparro Montoy , E., & Argume Sotomayor, A. (2016). Evaluacion de el tiempo de fermentacion con orujos de mosto de uva merlot para la extraccion de ntocianos. *ALICIA*.
- Biblioteca del Campo. (1998). *Importancia del agua, sistema de riego, recurso hidrico calidad de el agua*. Biología de eel suelo.
- Bidlingmaier, W. (2006). *probes anaerobic degestion Biocicle journal of composting and organics recyclin*.
- Biomasa. (2011). *Digestores anaerobios*.
- Carrasco, F. (2005). *Eneergias no convencionales*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/>
- Cascante, J. (2011). *Métodos mixtos de investigación - Guia de estudio 2011*. Obtenido de Métodos mixtos de investigación - Guia de estudio 2011: <http://repositorio.uned.ac.cr/reuned/bitstream/120809/390/1/GE2094%20M%C3%A>

9todos%20mixtos%20de%20investigaci%C3%B3n%20-%202011%20-%20Educa%C3%B3n.pdf

Castillo Atiaga, M. ((2012). *Determinación de la composición y densidad de los residuos sólidos urbanos del Distrito Metropolitano de Quito con fines de aprovechamiento energético y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero*. Ecuador: Universidad Internacional SEK.

Contretas. (2006). Producción de biogás con fines energéticos . De lo histórico a lo estratégico. .

Dueñas , y. (2012). *valoracion fisico quimico de los residuos solidos ubanos de distrito metropolitano*. quito.sp.

Duran Ramires, F. (2003). Manual De Cultivos Orgánicos Y Alelopatia. *amazon*.

Energia casera. (2010). Clasificación de Biodigestores. *Energia casera*.

Family size bio- Gas plant- Code of practice . (1998). India: Berau of indian standars,New Delhi.

Fannin, K. (1987). *start up, operation, stability, and controlo in aerobic digestion of biomass*. Recuperado el 15 de agosto de 2020, de <https://www.elsevier.com/search-result?query=start%20up%2C%20operation%2C%20stability%2C%20and%20control%20in%20aerobic%20digestion%20of%20biomass&labels>

Gallert, C., Bauer, S., & Winter, J. (1998). *Effect of ammonia on anaerobic degradation of protein by a mesophilic and thermophilic biowaste population* .

García Garrido, S. (2009). *Centrales Termoeléctricas de Biomasa*. Madrid: RENOVATEC.

Garrido, N. (2007). *Modulo7 Energia de la Biomasa*. Catalunya: Catedra UNESCO.

Guarda Puebla, Y. (2012). *Estudio de la digestión anaerobia en dos fases para el tratamiento de las aguas residuales de despulpe del beneficiado húmedo del café*. Universidad politécnica de Madrid escuela técnica superior de ingenieros. Madrid.

- Han. (2008). Small scale fuel wood project in rural china. *Energy Polici*, 36, 2154-2162.
- Hashimoto, A. G. (1986). *Ammonia inhibition of methanogenesis from cattle wastes. Agricultural Waster.*
- Hernadéz Sampieri, R. (Abril de 2014). *Metodología de la investigación - Sexta Edición.* Obtenido de Metodología de la investigación - Sexta Edición: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Hernandez Ruiz, M. j. (2 de diciembre de 2009). Recuperado el 16 de octubre de 2015, de biodigestoresmjhr.blogspot.com/
- Hernandez, F. (2015). *BIOGAS: casos de éxito en el sector industrial.* Mexico.
- Hernandez, M. (s.f). *Estudio de biodigestores anaerobicos.* Obtenido de Estrudio de biodigestores anaerobicos: <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/6390/1/224459.pdf>
- Herrera Marti, J. (2008). *Biodigestores familiares.* Bolivia: Cooperacion bBlivia.
- Herrera, M. (2014). *Desarrollo, difusión e implementación de tecnologías apropiadas: biodigestores en Bolivia.* . Obtenido de Desarrollo, difusión e implementación de tecnologías apropiadas: biodigestores en Bolivia. : <https://www.bivica.org/file/view/id/151>
- Herrero Marti, J. (2008). *Biodigestores familiares.* Bolivia: GIZ.
- Hilbert, J. (1993). *Manual para la producción de biogás*”. Instituto de Ingeniería.
- Hilbert, J. (2007). *Manual para la producción de biogás* . México DF: Castelar . .
- Hobson, p. N. (1995). *the treatment of agricultural wastes, en anaerobic digestion: a waste tratment techonology.*
- Hwu, C. H., & Lettinga, G. (1997). *Acute toxicity of oleate to acetate utilizing methamogens in mesophilic and temperature anaerobic sludge. Enzyme microbiology technolgt.*
- INEI. (2012). *Censo Nacional Agropecuario.* Obtenido de <http://censos.inei.gob.pe/>

- Jaime, H. M. (2008). *Biodigestores familiares*. Bolivia: Cooperacion Cooperacion Bolivia.
- Krugel, I., Nemeth, L., & Peddie, C. (1998). *Extending thermophilic anaerobic digestion for producing class a biosolods at the greater vancouver regional district annacis island wastewater treatment plant*.
- Lagrange, B. (1979). *Biomethane. Principes, Techniques, Utilisation*.
- Lokett. (1997). Digestores de gas metano para obtener combustibles. The new alchemy institute west.
- Lopez. (2014). Revista Cientifica Farem Esteli. Obtenido de Revista Cientifica Farem Esteli: <https://www.lamjol.info/index.php/FAREM/article/view/1604>
- López Perez, C. (2003). valoración de el estiércol de cerdo a traves de la produccion de biogas. *Fondo Nacional de porcicultura*, 78.
- Losano Martinez , H. R. (2016). *Diseño de u biodigestor para una finca del recinto San luis de mercedes de canton las naves provincia de Bolivar* . Bolivia : espol.
- Mae-Wan, H. (2008). *biogas bonanza for third world development*. Obtenido de <http://www.i.sis.org.uk/BiogasBonanza.php>
- Manolo, V. (2012). Proyecto de Máster en Energía Para el Desarrollo Sostenible. Obtenido de Proyecto de Máster en Energía Para el Desarrollo Sostenible: <http://repositorio.unan.edu.ni/1940/1/TES%201597.pdf>
- Martinez, T. (2014). *Ciudadania y justicia ambiental fundacion*. Recuperado el 29 de octubre de 2016, de Ciudadania y justicia ambiental fundacion: www.mbigua.org.ar Paraná
- MEN. (12 de 2017). *Balance Energetico Nacional*. Obtenido de www.mem.gob.ni
- Meza García, M. (2011). Disturbios del estado ácido-básico en el paciente crítico.
- Monar castillo, U. (2016). *Diseño de un biodigestor para la finca san luis de las mercedes del conton las naves de la provincia de bolivia*. Ecusdor : campus gustabo galin.

- Nitsch & Rettich. (1993). *Biogás, Usos en Baden Wurttemberg*. Stuttgart, Alemania.
- Nogués, F., Rezeau, A., & García, D. (2010). *Energía de la biomasa VI*. Zaragoza: Prensas de la univesidad de Zaragoza.
- Nogués, F. S., García-Galindo, D., & Rezeau, A. (2010). *Energía de la Biomasa(volumen 1)*. España: Prensa universitaria de zaragoza.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación FAO. (2017). <http://www.fao.org/3/i6934s/i6934s.pdf>. Obtenido de <http://www.fao.org/3/i6934s/i6934s.pdf>: www.fao.org/forestry/energy
- Osorio Saras , J., Velasques Ciro, H., & Sanches González, H. ((2007). *Evaluacion de un sistema de Biodigestion en serie para clima frio*. Medellin: scielo.org.
- Osorio, J., Ciro, H., & GonzaleZ, H. (2007). *Evaluacion de un sistema de biodigestion en serie para clima frio*.
- Parra Orobio, B., Lozada, P., Marmolejo Rebellon, L., Cardenas Cleves, L., Vasquez, C., Torrez Lóez, W., & Ordoñez, J. (2014). *Influencia del el Ph sobre la dijestion anaerobia de bioresiduos de origen municipal*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/>
- Pavlostathis, S. G., & Gomez E, G. (1991). Kinetics of anaerobics treatment: a critical review. *Critical reviews in enviromental control*(2), 490.
- Pineda, & et al. (s.f.). *Metodologia de la Investigacion Manual para el Desarrollo de Personal de Salud.pdf*. Obtenido de *Metodologia de la Investigacion Manual para el Desarrollo de Personal de Salud.pdf*: <http://187.191.86.244/rceis/registro/Metodologia%20de%20la%20Investigacion%20Manual%20para%20el%20Desarrollo%20de%20Personal%20de%20Salud.pdf>
- Pineda, E., De Alvarado, E., & De Canales, F. (s.f.). *Metodologia de la Investigacion Manual para el Desarrollo de Personal de Salud.pdf*. Obtenido de *Metodologia de la Investigacion Manual para el Desarrollo de Personal de Salud.pdf*:

<http://187.191.86.244/rceis/registro/Metodologia%20de%20la%20Investigacion%20Manual%20para%20el%20Desarrollo%20de%20Personal%20de%20Salud.pdf>

Reyes Aguilera, E. A. (2019). *generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos en la zona rural de Estelí, en el período 2016-2018*. Tesis doctorales, Estelí. Recuperado el 15 de Julio de 2020, de <https://repositorio.unan.edu.ni/12306/1/5892.pdf>

Reyes Aguilera, E. A. (2019). *generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos en la zona rural de Estelí, en el período 2016-2018*. Tesis doctorales, Estelí. Recuperado el 15 de Julio de 2020, de <https://repositorio.unan.edu.ni/12306/1/5892.pdf>

Ríos, A. G. (Abril de 2007). *MANUAL DE BIOGÁS*. Recuperado el 28 de Octubre de 2016, de <http://www.mbigua.org.ar/uploads/Biogas.pdf>

Rosales , M., Gerber, P., & Castel, V. (2009). *La larga sombra*.

Rosas , M., Segalás, J., Dávila, C., Chiroque, J., O. M., Cohelo, J., & Grrido, N. (2011). *Evaluacion de Recursos Energeticos Renovables*. UNESCO de sostenoibilidad de la UPC Y Fundacion politécnica de Cantaluya.

Serafiín, F. (2010). *Estudio de Factibilidad para un Programa Nacional de Biogás en Honduras*. Obtenido de Estudio de Factibilidad para un Programa Nacional de Biogás en Honduras: <http://www.bibalex.org/search4dev/files/419121/442095.pdf>

Speece, R. (1983). *Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatment*. doi:10.1021/es00115a725

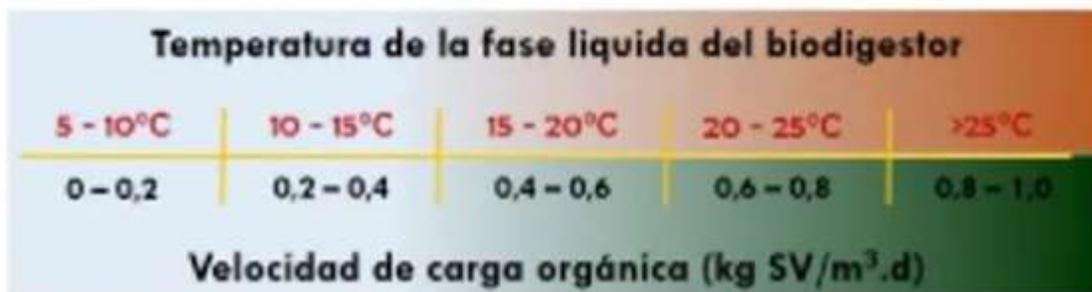
Ssase, L. (1989). *Tratamiento descentralizado de aguas residuales DEWATS en paises en desarrollo*. Alemania: Asociacion de 9investigacion y deasarrollo de Ultramar de Bremen (BORDA).

Tamayo, M. (2012). *El Proceso de la Investigación Científic*.

- Tecnosol. (2014). *Biogás-SNV.pdf*. Obtenido de *Biogás-SNV.pdf*: <http://guiagronicaragua.com/wp-content/uploads/2016/11/Biog%C3%A1s-SNV.pdf>
- Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R., & Zurbrügg, C. (2008). *Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento*. el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- Tilley, R. (2018). *compendio de sistemas y tecnologías de almacenamiento* . Alliance (SuSanA) .
- Torrez, H. (2005). *MEJORADA PARA AHORRAR LEÑA*. Obtenido de www.researchgate.net
- Toruño Sotelo, L., Casco Dávila, D. M., & Lira Ruiz, E. I. (2016). *Estudio de producción de biogás por medio del proceso de digestión anaerobia no controlada a partir de diversos sustratos orgánicos en la Facultad Regional Multidisciplinaria (FAREM–ESTELÍ), II Semestre de 2016*. Estelí.
- Valdivia. (2000). *Uso de Biogás para la generación de energía eléctrica mediante un motor gasolinero estacionario modificado*. Lima, Perú. .
- Van Lier, J. B., Hulsbeek, J., Stams, A. J., & Lettinga, G. (1993). *temperature susceptibility of thermophilic methanogenic: implication for reactor start-up and operation*.
- Varnero Moreno, M. (2011). *Manual de Biogas*. Santiago: Proyecto CHI/00/G32.
- Wahid, M., & Hosseini, S. (2014). *Desarrollo de la combustión de biogás en generación combinada de calor y energía*. *ScienceDirect*, 868-875.
- Wilkie. (2005). *Digestion Anaerobia*.

13 Anexos

Anexos N° 1: Temperatura de la fase liquida del biodigestor.



Fuente: (Carrasco, 2005)

Anexos N° 2: Eficiencia volumétrica .

	Profundidad	1 m de profundidad				1,5 m de profundidad				2m de profundidad				
		Tabud	10°	20°	30°	45°	10°	20°	30°	45°	10°	20°	30°	45°
Fase 90% líquido, 10% gaseoso	Circunferencia boha	3	71%	66%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		4	84%	80%	73%	-	57%	-	-	-	-	-	-	-
		5	82%	79%	75%	-	79%	74%	-	-	47%	-	-	-
		8	65%	64%	62%	56%	80%	78%	74%	61%	84%	80%	73%	-
		10	56%	55%	54%	45%	72%	71%	68%	60%	82%	79%	75%	60%
		12	48%	48%	47%	44%	63%	64%	62%	50%	70%	75%	71%	61%
		15	40%	40%	38%	36%	56%	55%	54%	50%	68%	66%	64%	58%
		18	34%	34%	34%	33%	48%	48%	47%	44%	60%	59%	58%	53%
Fase 80% líquido, 20% gaseoso	Circunferencia boha	3	65%	66%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		4	86%	85%	79%	-	49%	-	-	-	-	-	-	-
		5	88%	86%	82%	67%	76%	76%	-	-	-	-	-	-
		8	72%	71%	69%	63%	87%	85%	81%	68%	86%	85%	79%	-
		10	62%	61%	60%	56%	80%	78%	76%	67%	88%	86%	82%	67%
		12	54%	54%	53%	50%	72%	71%	69%	63%	84%	82%	79%	68%
		15	45%	45%	44%	42%	62%	61%	60%	56%	75%	74%	71%	64%
		18	39%	38%	38%	37%	54%	54%	53%	50%	67%	66%	64%	59%

Fuente: (Carrasco, 2005)

Anexo N°3: Factores para dimensionar la fosa.

	Profundidad	1 m de profundidad				1,5 m de profundidad				2m de profundidad				
		10°	20°	30°	45°	10°	20°	30°	45°	10°	20°	30°	45°	
	Factor (b)	0,35	0,73	1,15	2	0,53	1,1	1,73	3	0,71	1,45	2,3	4	
Fosa 90% líquido, 10% gases	Circunferencia bola	3	0,21	0,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		4	0,28	0,32	0,35	-	0,17	-	-	-	-	-	-	-
		5	0,33	0,36	0,38	-	0,24	0,29	-	-	0,15	-	-	-
		8	0,39	0,41	0,43	0,448	0,34	0,37	0,39	0,42	0,28	0,32	0,35	-
		10	0,42	0,43	0,44	0,47	0,37	0,39	0,41	0,44	0,33	0,36	0,38	0,42
		12	0,43	0,44	0,45	0,47	0,39	0,41	0,43	0,45	0,36	0,38	0,4	0,43
		15	0,44	0,45	0,46	0,48	0,42	0,43	0,44	0,46	0,39	0,41	0,42	0,44
18	0,45	0,46	0,47	0,48	0,43	0,44	0,45	0,47	0,41	0,42	0,44	0,45		
Fosa 80% líquido, 20% gases	Circunferencia bola	3	0,18	0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		4	0,26	0,31	0,34	-	0,15	-	-	-	-	-	-	-
		5	0,32	0,35	0,38	0,41	0,21	0,27	-	-	-	-	-	-
		8	0,39	0,41	0,42	0,44	0,33	0,36	0,38	0,42	0,26	0,31	0,34	-
		10	0,41	0,43	0,44	0,46	0,36	0,39	0,41	0,43	0,32	0,35	0,38	0,41
		12	0,43	0,44	0,45	0,46	0,39	0,41	0,42	0,44	0,35	0,37	0,4	0,43
		15	0,44	0,45	0,46	0,47	0,41	0,43	0,44	0,46	0,38	0,4	0,42	0,44
18	0,45	0,46	0,47	0,48	0,43	0,44	0,45	0,46	0,4	0,42	0,43	0,45		

Fuente: (Carrasco, 2005)

Anexo N° 4: Datos de pruebas en Hornos.

	temperatura inicial	105°C	hora inicio. 9:00am	masa seca(g)	hora final	%Mh(max%)	tiempo final	550°C	hora inicial 9:am	
tipo de sustrato	muestra	masa bruta	masa humeda		%ms(max-ms/mi)%		cenizas	msv= ms-mc	cenizas	solidos volatiles
porcino	muestra 1	204g								
	muestra 2	232g								
	muestra 3	227g								

Anexo N° 5: Tabla de datos de prueba de hornos

Caso	Dias	Temperatura Grados Fahrenheit	Temperatura Grados Centigrados	Ph estercor porcino	Produccion de biogas
1	1	72	22	6.50	
2	2	74	21	6.00	
3	3	84	28	6.25	
4	4	78	25	6.50	
5	5	82	27	6.50	
6	6	84	28	6.50	
7	7	86	30	6.00	
8	8	86	30	6.00	
9	9	81	27	6.00	
10	10	86	30	6.00	
11	11	86	30	6.00	
12	12	86	30	6.00	
13	13	78	25	6.50	
14	14	84	28	6.50	
15	15	86	30	7.00	
16	16	84	28	7.00	
17	17	86	30	7.00	
18	18	84	28	7.00	
19	19	84	28	7.00	
20	20	86	30	7.00.8000 ml	
21	21	84	28	7.00	
22	22	84	28	6.75	
23	23	78	25	6.75	

Anexo N°6: C VAN Y TIR.

	Inversión Inicial	1	2	3	4	5
Ingreso		180	190.8	202.748	214.38288	227.249353
Egreso		60	63.6	67.416	71.48096	75.7486176
Ingreso Neto	-361.5	120	127.2	134.832	143.02192	151.497235
		-161.5	-34.2	100.512	243.45392	384.951155

6%	
VAN	13268.43
TIR	27%
DMR	1.75 2.27
	0.75
	8.98

Anexo N°7: Cronograma de actividades.

Etapa	Actividad							
						0	1	2
tapa 1	Realización del tema.							
tapa 2	Recolección de datos .							
tapa 3	Desarrollo del documento.							
tapa 4	Conclusión y recomendaciones.							

tapa 5	Finalización del informe final.									
tapa 6	Defensa del informe final.									

Anexo N°8: Presupuesto personal

Descripcion	Unidad de medida	Costo unitario	Cantidad	Costo total
A. Viaje al sitio y Estadía				
Viaje ida	Unidad	80	4	320
Viaje vuelta	Unidad	80	4	320
B. Alimentos				
Desayuno	Unidad	40	2	80
Almuerzo	Unidad	50	2	100
C. Materiales				
Libreta	Unidad	10	3	30
Lápices	Unidad	15	1	15
Regla	unidad	140	1	140

Calculadora				
D. Equipos	Par	20	2	40
Guantes dieléctricos	Unidad	40	1	40
Escoba				
Total\$				1120

Anexo N°9: Presupuesto para la construcción del biodigestor tipo Bach

Cantidad	Elemento	Costo Unitario	Total
3mt	Tubo PVC de ½ pulg	C\$18.00	C\$54.00
1	Recipiente de 20 lts	C\$150.00	C\$150.00
2	Codos de ½	C\$10.00	C\$20.00
3	Uniones de ½	C\$10.00	C\$30.00
1	T de ½	C\$45.00	C\$45.00
3	Llaves de pase de ½	C\$30.00	C\$90.00
3	Tapones de ½	C\$10.00	C\$30.00
3	Válvula para gas	C\$25.00	C\$25.00
1.5 m	Manguera	C\$45.00	C\$45.00
2	Neumáticos de Motos	C\$300.00	C\$300.00
TOTAL			C\$789.00

Anexo N°10: Actividades realizadas en el proceso de trabajo



Figura 25: Biodigestor tipo tubular.



Figura 26: Pesaje de cenizas después de salir del horno.



Figura 27: Muestra de cenizas después de salir del horno.



Figura 28:
Muestra experimentales.



Figura 29: Medidas de
temperatura interna del biodigestor.



Figura 31: Casa de la finca.



Figura 30: Cerdos de la granja.



Figura 33: Fogón que se utiliza en la Finca las Palmas.



Figura 32: Pesaje de la leña