



FACULTAD DE POSTGRADO

TESIS DE POSTGRADO

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE OBTENCIÓN DE METANO
CON BIODIGESTORES A PARTIR DE CERDAZA DE
DISTINTAS DIETAS ALIMENTICIAS.**

SUSTENTADO POR:

HÉCTOR LEONARDO RAUDALES PERALTA

KEERYN ARMANDO LÓPEZ LÓPEZ

PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO

MÁSTER EN GESTIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES

TEGUCIGALPA, F. M., HONDURAS, C.A.

MAYO, 2017

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA
UNITEC**

FACULTAD DE POSTGRADO

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

**RECTOR
MARLON BREVÉ REYES**

**SECRETARIO GENERAL
ROGER MARTÍNEZ MIRALDA**

**DECANO DE LA FACULTAD DE POSTGRADO
JOSÉ ARNOLDO SERMEÑO LIMA**

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE OBTENCIÓN DE METANO
CON BIODIGESTORES A PARTIR DE CERDAZA DE
DISTINTAS DIETAS ALIMENTICIAS.**

**TRABAJO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE LOS
REQUISITOS EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE**

**MÁSTER EN
GESTIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES**

**ASESOR METODOLÓGICO
WILFREDO CÉSAR FLORES CASTRO**

**ASESOR TEMÁTICO
RENE GERARDO CÁCERES**

**MIEMBROS DE LA TERNA
CARLOS ZELAYA OVIEDO**

**REINA FIALLOS
MINA CECILIA GARCÍA**

DEDICATORIA

A DIOS Todopoderoso que me ha brindado la bendición de la vida y la oportunidad de alcanzar cada una de mis metas.

A MIS PADRES Héctor Abraham Raudales y Mirna Esmeralda Peralta, a quienes les debo lo que soy, por brindarme su confianza y apoyo incondicional en cada momento de mi vida, enseñándome a luchar por alcanzar mis metas.

A MI ESPOSA Tania Vanesa Caballero, por toda la paciencia, confianza y amor que me ha brindado en todo tiempo.

A MI ABUELA Esperanza Moreno por su amor y apoyo incondicional

Héctor Leonardo Raudales Peralta

AGRADECIMIENTO

Doy gracias en primer lugar a **Dios Todopoderoso** quien ha estado conmigo en todo momento dándome fuerzas e iluminando mi camino para así conseguir mis metas y sueños que tanto he anhelado.

Agradecimiento a toda mi familia **mis Padres, mi Esposa, mis Hermanos, mi Abuela, Tíos, Tías y Primos** por todo el amor y la confianza depositada en mí y cada día darme los ánimos y el porqué de seguir adelante.

Se agradece al **PhD Wilfredo Flores** por su dedicación y tiempo que nos brindó, así como los consejos oportunos y los comentarios en todo momento, durante la culminación de la tesis siendo pieza fundamental para la elaboración de la misma.

A todos ellos, mil gracias.

Héctor Leonardo Raudales Peralta



EVALUACIÓN PRELIMINAR DE OBTENCIÓN DE METANO CON BIODIGESTORES A PARTIR DE CERDAZA DE DISTINTAS DIETAS ALIMENTICIAS.

AUTORES:

Héctor Leonardo Raudales peralta

Keeryn Armando López López

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo se realizó para determinar la variabilidad en la producción de metano a base de cerdaza utilizando distintas dietas alimenticias, una utiliza concentrado de crecimiento más agua, y la segunda maíz cocido y suero de leche. La investigación consiste en la recolección de cerdaza de dos granjas porcinas, las cuales proveen alimento a cerdos de engorde de la raza Landrace con edades de entre dos y cuatro meses, las muestras fueron mezcladas con agua en proporción 1:2 y se depositaron cada una en un biodigestor metálico de acero inoxidable, se obtuvieron tres muestras de 1,500 cc de biogás de cada biodigestor, con tiempos de fermentación de 15, 20 y 25 días respectivamente. Las muestras fueron analizadas y se encontró que, si existe diferencia en los porcentajes de metano presente en el biogás obtenido, al observar que la dieta a base de maíz y suero presento la mayor producción de metano. La cantidad de Metano es la que nos indica el potencial energético y a su vez sirve como base de referencia para futuras investigaciones sobre producción de energía con biomasa, aplicadas principalmente a zonas aisladas que no cuentan con suministro de energía eléctrica de la

red nacional. La investigación fue llevada a cabo en el municipio de Santa María del Real, Departamento de Olancho, Honduras.

PRELIMINARY EVALUATION OF OBTAINING OF METHANE WITH BIODIGESTORES FROM BIG BRISTLE OF DIFFERENT FOOD DIETS.

BY:

Héctor Leonardo Raudales Peralta

Keeryn Armando López López

ABSTRACT

The present work came true to determine the variability in the methane production based on big bristle using different food diets, one uses concentrated of growth more water, and the second cooked corn and whey. Investigation involves the collection of big bristle of two pig farms, which supply I feed Landrace with ages to pigs of fattening up of the race of between two and four months, samples were mixed 1:2 with proportioned water and deposited each in a metallic biodigestor of steel rustless, they obtained each biodigestor's three 1.500-cc samples of biogas, with times proofing of 15, 20 and 25 days respectively. Samples were analyzed and he met that, if there is difference in the present- methane percentages in the biogas obtained, when observing that the diet based on corn and whey I present the bigger methane production. The quantity of Methane is the one that indicates the energetic potential to us and in turn is useful for like reference period future investigations on production of energy with biomass, once insulated zones that do not have power supply were principally applied to electric of the national network. Investigation was taken to stub in the municipality of Santa María of the Real, Olancho's Departament, Honduras.

Keywords: big bristle Biodigestor's, Biogas

INDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|---|
| CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN | 1 |
| 1.1 INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.2 MAPA DE HONDURAS Y DE LA ZONA DONDE SE REALIZÓ LA INVESTIGACIÓN | 2 |
| 1.3. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA | 3 |
| 1.4 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA | 4 |
| 1.4.1 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN | 4 |
| 1.5 OBJETIVOS DEL PROYECTO | 5 |
| 1.5.1 OBJETIVO GENERAL | 5 |
| 1.5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS | 5 |
| 1.6 JUSTIFICACIÓN | 5 |
| 1.6.1 CONVENIENCIA DE LA INVESTIGACIÓN | 5 |
| 1.6.2 RELEVANCIA SOCIAL | 6 |
| 1.6.3 IMPLICACIONES PRÁCTICAS | 6 |
| 1.6.4 VALOR TEÓRICO | 7 |

| | |
|---|----|
| 1.6.5 UTILIDAD METODOLÓGICA | 7 |
| CAPITULO II. MARCOTEÓRICO | 8 |
| 2.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL | 8 |
| 2.2 TEORIAS | 8 |
| 2.2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO | 8 |
| 2.2.1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS | 8 |
| 2.2.1.2 LA GENERACIÓN DE BIOGAS EN CENTRO AMERICA | 9 |
| 2.2.1.3 ENERGIA RENOVABLE | 10 |
| 2.2.1.4 BIOMASA | 10 |
| 2.2.1.5 DISEÑO DE UN BIODIGESTOR | 10 |
| 2.2.1.6 LOS PRE TRATAMIENTOS FÍSICOS | 11 |
| 2.2.1.7 ESTRUCTURA DE UN BIODIGESTOR | 12 |
| 2.2.1.8 PRODUCCIÓN DE BIOGAS | 14 |
| 2.2.2 FERMENTACION METANOGENICA | 16 |
| 2.2.2.1 ETAPAS DE LA FERMENTACION METANOGENICA | 16 |
| 2.2.3 PROPIEDADES DE LA COMBUSTIÓN | 18 |
| 2.3 MARCO LEGAL | 19 |

| | |
|---|----|
| 2.3.1 LEY DE PROMOCIÓN A LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON RECURSOS RENOVABLES..... | 19 |
| 2.3.2 REFORMA DE LOS ARTICULOS 5 Y 12 DE LA LEY PARA LA PRODUCCION Y CONSUMO DE BIOCOMBUSTIBLES | 20 |
| CAPÍTULO III. METODOLOGÍA | 21 |
| 3.1MATRIZ METODOLÓGICA | 21 |
| 3.2DEFINICIÓN OPERACIONAL DE LAS VARIABLES | 22 |
| 3.2.1 DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LAS VARIABLES | 22 |
| 3.2.2 DEFINICIÓN OPERACIONAL DE LAS VARIABLES | 22 |
| 3.3 ENFOQUE Y MÉTODOS | 23 |
| 3.4 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN | 24 |
| 3.4.1 ETAPAS DEL EXPERIMENTO | 25 |
| 3.5 MUESTRA | 26 |
| 3.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS | 27 |
| 3.6.1 TÉCNICAS | 27 |
| 3.6.2 MATERIALES Y HERRAMIENTAS | 27 |
| 3.6.3 PROCEDIMIENTOS | 27 |
| 3.6.3.1 RECOLECCION DE MUESTRAS | 28 |

| | |
|--|----|
| 3.6.3.2 PROGRAMA DE MUESTREO | 28 |
| 3.7 DETERMINACION DE VOLUMEN Y PUREZA DEL BIOGAS | 28 |
| 3.8 TABLA DE DATOS | 29 |
| 3.9 LIMITANTES DEL ESTUDIO | 30 |
| CAPITULO IV. RESULTADOS | 31 |
| 4.1 DESCRIPCION DEL SITIO EXPERIMENTAL | 31 |
| 4.2 DISEÑO DE BLOQUES AL AZAR | 31 |
| 4.3 PORCENTAJE DE METANO OBTENIDO EN ANÁLISIS DE MUESTRAS DE BIOGÁS OBTENIDAS | 33 |
| CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 38 |
| APORTES DE LA INVESTIGACIÓN | 40 |
| REFERENCIAS | 41 |
| ANEXOS..... | 45 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Matriz Metodológica | 21 |
| Tabla 2. Definición Conceptual y Operacional de las Variables. | 22 |
| Tabla 3. Proporción de mezcla y producción de Biogás | 24 |
| Tabla 4. Muestras de dietas alimenticias | 26 |
| Tabla 5. Hora de recolección de muestras | 28 |
| Tabla 6. Días de fermentación del influente según el rango de temperatura..... | 29 |
| Tabla 7. Volumen estimado de producción de Biogás | 29 |
| Tabla 8. Diseño del Experimento..... | 32 |
| Tabla 9. Resultados obtenidos en porcentaje de Metano..... | 33 |
| Tabla 10. Calculo de porcentaje de Metano..... | 34 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1. Ubicación del experimento..... | 2 |
| Figura 2. Diseño de construcción de un biodigestor tipo hindú..... | 184 |
| Figura 3 Esquema de reacciones de la digestión anaeróbica de materiales poliméricos... | 18 |
| Figura 4. Diseño de bloques al azar..... | 32 |
| Figura 5. Gráfico de porcentaje de producción de gases de la dieta o tratamiento #1..... | 35 |
| Figura 6. Gráfico de porcentaje de producción de gases de la dieta o tratamiento #2..... | 35 |

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo está dirigido a la cuantificación del porcentaje de Metano del biogás obtenido gracias a la fermentación anaeróbica llevada a cabo en dos biodigestores metálicos, cada uno fue cargado con una mezcla de cerdaza más agua en proporción en libras de peso de 2:1, es decir dos libras de agua por una de excreta porcina. La cerdaza fue recolectada de dos granjas porcinas, las cuales presentan condiciones similares de infraestructura de las cuadras, ambas tienen el mismo rubro el cual es el engorde de cerdos para la venta de la raza Landracey manejan poblaciones con edades de entre 2 a 4 meses, estas granjas porcinas se encuentran en el municipio de Santa María del Real, departamento de Olancho, Honduras.

Una diferencia significativa entre las dos granjas radica en la dieta alimenticia que se les suministra a los cerdos. En una granja se alimenta a los cerdos con concentrado de engorde el cual es una mezcla compuesta completa basada en los requerimientos nutricionales de los cerdos en desarrollo más agua, que denominaremos dieta 1 y la otra consiste en maíz cocido más suero lácteo, que llamaremos dieta 2.

Una vez llenos los biodigestores, se dejó reposar los influentes durante 15 días, en el día 16 fueron extraídas tres muestras de biogás de cada biodigestor, las cuales se analizaron con un Gasómetro que indica cantidad de partes por millón (PPM) de Metano (CH_4), Dióxido de Carbono (CO_2) y Oxígeno (O_2). Dichos resultados se tradujeron a porcentajes, datos que

sirven como base para la estimación del potencial energético de cada granja.

1.2 MAPA DE HONDURAS Y DE LA ZONA DONDE SE REALIZÓ LA INVESTIGACIÓN

El proyecto experimental se realizó en la finca villa Rosy, ubicada en la aldea cofradía, en el municipio de santa maría del real, departamento de Olancho; a 3 km del casco urbano. Este es un municipio pequeño con una población aproximadamente de 10,500 habitantes y una extensión territorial de 290 km².



Figura 1. Ubicación del experimento.

(Fuente: Google Maps)

1.3. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

En Honduras no se cuenta con antecedentes de un trabajo de investigación de tipo experimental que tenga como componente principal el análisis de la incidencia de la alimentación de los cerdos en la producción de biogás.

Sin embargo, se encuentran diversos e interesantes trabajos de investigación tales como:

En la Escuela Panamericana El Zamorano se han realizado estudios de tesis tales para estimar el potencial energético de la granja porcina que poseen bajo sus propias condiciones. Se caracterizó de forma cualitativa y cuantitativa las aguas residuales de la granja porcina de Zamorano. Se determinando el índice de producción de metano (CH₄) del sustrato mediante el uso de biorreactores en lote montados a una carga orgánica de 0.5 y 3 kg SV/m³ (Cevallos P., Wendy K., V., & Karen L., 2013).

Diseño de productos micro-crediticios para la adquisición de energía renovable en la Región del Yeguaré, Honduras. Ese estudio pretende desarrollar productos financieros dirigidos a la adquisición de fuentes energéticas alternativas para cajas rurales seleccionadas en Honduras (M., Ericka L., & Claire, María, 2010).

Estudio de pre factibilidad para el aprovechamiento del biogás con fines energéticos a partir del estiércol de ganado bovino en la Unidad de Ganado Lechero de Zamorano, Honduras. Evaluando la rentabilidad de un proyecto de recuperación de biogás con fines energéticos utilizando los desechos fecales de la unidad de ganado lechero en Zamorano, implementando dos diluciones agua: estiércol, 70:30 y 80:20, y un tiempo de retención hidráulica de 30 días (Medina I., Zilhgian I. et al., 2009).

1.4 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El municipio de Santa María del Real está ubicada en el departamento de Olancho, el mismo sufre de un sistema deficiente de suministro de energía eléctrica, en donde existen zonas que no cuentan con este servicio, el cual es de vital importancia para el desarrollo de las actividades; domesticas, comerciales y de producción, situación que obliga a la compra de generadores eléctricos de respaldo que consumen combustibles fósiles no renovables (diésel y gasolina), sumado a esto mal manejo de la cerdaza producida en la granja porcina, la cual es depositada al medio ambiente sin previo tratamiento.

Actualmente no se cuenta con una iniciativa de tratamiento de residuos en las granjas de producción porcina y menos de generación de energía renovable, al igual que no se aprovecha el potencial rico en materia orgánica de la cerdaza como abono para cultivos.

Tampoco se conoce si la alimentación incide en la producción de metano y por ende que dieta puede brindar mayor eficiencia en la producción energética de electricidad y calor.

1.4.1 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Las preguntas están orientadas al desarrollo de la investigación sobre la producción de metano con biodigestores a partir de cerdaza;

- ¿Hay diferencia en la producción de metano entre los dos tratamientos de biodigestores de cerdaza de las dietas alimenticias?
- ¿Qué granja posee mayor potencial energético en base a sus residuos de cerdaza?
- ¿Qué importancia tiene conocer los porcentajes de metano producidos por cada tratamiento para futuras investigaciones?

1.5 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar de manera preliminar la obtención de metano con biodigestores a partir de cerdaza de dos dietas alimenticias distintas, para identificar que dieta proporciona el mayor potencial energético, como base para futuras investigaciones de eficiencia en la generación de energía eléctrica y calor.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Instalar un modelo didáctico de biodigestor que permita su fácil traslado, ubicación, llenado de influentes y vaciado para limpieza, así como la recolección del biogás.
2. Recolectar muestras de biogás para analizarlas e identificar si existe diferencia en los porcentajes de metano de cada una.
3. Cuantificar la proporción de metano de cada muestra de biogás.
4. Determinar que aplicación del biogás es más significativa para cada granja.
5. Enunciar que aportes tiene este trabajo para futuras investigaciones en el campo de las energías renovables.

1.6 JUSTIFICACIÓN

1.6.1 CONVENIENCIA DE LA INVESTIGACIÓN

Debido al inexistente tratamiento de los residuos de las granjas porcinas que representan un problema ambiental y al deficiente servicio energético regional, la construcción de biodigestores una solución para ambos problemas proporcionando los siguientes beneficios:

- Brindar un manejo adecuado de la cerdaza reduciendo al máximo su impacto ambiental.
- Obtención de biogás para usos domésticos en las instalaciones de la finca, y posible aplicación a sistemas eléctricos aislados dependiendo de la cantidad y calidad de metano producido en el proceso.
- Producir biofertilizantes con los efluentes líquidos y sólidos producto del proceso de gasificación del biodigestor.
- Promover la producción de energía gaseosa (biogás) para utilizar en procesos productivos integrales que proporcionen autonomía energética a las granjas porcinas.

1.6.2 RELEVANCIA SOCIAL

- Demostrar y utilizar tecnologías de manejo de residuos y producción de energía limpia.
- Contribuir con información que sirva de línea base para futuras investigaciones de biogás y energía renovable.
- Contribuir a la generación de empleo.

1.6.3 IMPLICACIONES PRÁCTICAS

La materia prima del proyecto es la cerdaza, que se recolecta a diario por el aseo de las cuadras de las granjas porcinas. De cada granja se recolecto la cantidad de 36 Libras de peso durante dos días, en horarios distintos, es decir en el día uno, a las seis de la mañana y el día dos a las doce del mediodía haciendo un total de 72 libras. La cerdaza fue pesada, mezclada en proporción de peso 1:2, en un barril de 200 litros de capacidad y luego vertida al biodigestor ubicado en la Hacienda Villa Rosy a pocos Kilómetros de los puntos de

recolección, esto para reducir la variabilidad de resultados, ya que se tienen ambas pruebas en las mismas condiciones ambientales, utilizando la misma agua y conservando las muestras el mismo periodo de tiempo. Del biogás producido se recolectaron tres muestras de cada biodigestor, la cuales se analizaron con un Gasómetro propiedad del Cuerpo de Bomberos de Honduras.

1.6.4 VALOR TEÓRICO

Esta investigación nos muestra que existen distintos factores que inciden en la producción de biogás, tal como lo es la dieta alimenticia, que es el tema principal de investigación.

1.6.5 UTILIDAD METODOLÓGICA

La metodología de este estudio se basa en el análisis experimental de biogás producido bajo condiciones controladas y medidas, utilizando cerdaza de granjas donde no se aprovecha su potencial energético, y esta a su vez representa un problema ambiental, por lo que se aplicó como instrumento de investigación encuestas mediante entrevista personal con los dueños de las granjas, así como el muestreo y su análisis con el método de bloques al azar para reducir la variabilidad de resultados. La metodología que se utilizó en esta investigación es cuantitativa, que permite analizar o determinar aspectos de relevancia.

CAPITULO II. MARCOTEÓRICO

2.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

El municipio de Santa María del real, está ubicada en el departamento de Olancho, el cual es alimentado por una línea de 69 kV, la cual está montada en su mayoría en postes de madera, del tipo radial, saliendo de la subestación Santa Fe en Comayagüela. Todo el departamento sufre de constantes problemas de abastecimiento, principalmente de voltaje a lo largo de la línea (Flores Castro, Wilfredo César, 2016, p. 56).

2.2 TEORIAS

2.2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

La parte constructiva del proyecto consiste en la implementación de dos biodigestores similares tipo cilíndrico con dimensiones de 59 cm de diámetro y 90 cm de altura, para una capacidad de 0.246 m³, aprovechando los residuos produciendo biogás por medio de la descomposición de los materiales orgánicos, siendo un proceso por descomposición anaerobia. Los dos principales gases formados son metano (CH₄) y bióxido de carbono (CO₂), (SEDESOL 2010).

2.2.1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

La biodigestión fue descubierta por los chinos en el siglo XVIII. La instalación de 14 millones de biodigestores familiares hasta el año 2005, ha mejorado la economía y el bienestar familiar en las áreas rurales de China. Los resultados de varios estudios indican que el uso de biodigestores reduce la pobreza, pues disminuye el gasto en la compra de combustibles, abonos orgánicos y alimentos, liberando recursos que son invertidos por las

familias rurales en cubrir otras necesidades. El uso de los residuos del proceso de biodigestión como abono, incrementa la producción agrícola, aunque el soporte de estos beneficios es aún empírico.

La salud de la familia se mejora, ya que se reducen los malestares y enfermedades causados por la quema de leña para cocinar y por el consumo de aguas contaminadas. El medio ambiente se beneficia, al reducirse las emisiones de gases de efecto invernadero y de lluvia ácida. En encuestas realizadas entre usuarios o no de biodigestores en las provincias de Gansu y Sichuan, fue evidente que el efecto del uso de biodigestores sobre el bienestar de la familia rural es positivo. Sin embargo, con un soporte técnico apropiado, los beneficios pueden ser incrementados significativamente (van Groenendaal y Gehua, 2009)

2.2.1.2 LA GENERACIÓN DE BIOGAS EN CENTRO AMERICA

La RENAC con el apoyo técnico del Programa Energías Renovables y Eficiencia Energética en Centroamérica (4E-GIZ), realizó la formación en biogás en América Central, alrededor de 65 técnicos más de los países de la región centroamericana, se capacitaron para desarrollar proyectos de generación eléctrica con biogás a partir de la biomasa, utilizando desechos orgánicos. Esto aumenta el total a 125 técnicos capacitados en la región en este tema, por medio un convenio entre la Renewables Academy (RENAC) y la agencia alemana para la cooperación internacional (GIZ).

En **Honduras** donde se montaron biodigestores demostrativos de pequeño tamaño (volumen de 22,5 m³), en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, utilizando como sustrato: estiércol vacuno y cerdaza, en **Costa Rica**, visitaron la empresa Porcina Americana (PASA), con el objetivo de conocer uno de los proyectos más grandes del país, el cual fue

asesorado por el Programa 4E-GIZ, para la generación de biogás con excretas de cerdos, en el **Salvador**, se realizaron pruebas para determinar las propiedades de diferentes sustratos e identificar su potencial para la generación de biogás.

2.2.1.3 ENERGIA RENOVABLE

Las energías renovables son aquellas que provienen de recursos naturales que se renuevan constantemente por ciclos de producción, pudiendo así mantener una producción de energía constante sin agotar estas fuentes que son renovables.

“Las nuevas fuentes renovables de energía como ser: bioenergía, solar, geotérmica, pequeña, mini y microhidráulica, eólica, oceánica e hidrogeno las cuales se adaptan mejor a un sistema sustentable de producción de energía debido a sus ventajas ambientales, sociales, de impulso económico regional y local, desarrollo científico y tecnológico y desarrollo industrial” (Mazini Poli F L, 2004).

2.2.1.4 BIOMASA

En la actualidad se ha visto de gran importancia, la búsqueda de nuevas alternativas que ayuden a mitigar el impacto ambiental de diferentes sectores productivos, por la emisión de residuos y gases de efecto invernadero; provenientes de residuos sólidos en descomposición expuestos a la atmosfera. Para esto se han determinado la utilización de procesos bioquímicos y biológicos en los que el elemento importante son las bacterias anaeróbicas que realizan una labor progresiva en la degradación de los desechos (Carlos-Hernández, Sanchez, Béteau, & Jiménez, 2014).

2.2.1.5 DISEÑO DE UN BIODIGESTOR

El diseño de un biodigestor depende directamente de varios parámetros tales como la temperatura ambiente media del lugar donde se vaya a instalar. La temperatura marcará la

actividad de las bacterias que digieren el estiércol, y cuanto menor temperatura, menor actividad tendrán éstas, y por tanto será necesario que el estiércol esté más tiempo en el interior del biodigestor («Biodigestores Familiares Guía de Diseño - Documents», s. f., p. 15).

Principales parámetros para el cálculo de una planta de biogás

- Volumen del digestor: Volumen de la materia orgánica más el agua;
- Volumen de la cámara de fermentación;
- Volumen de la campana: Valor máximo de almacenamiento de gas;
- Volumen de carga: Se refiere al volumen total de materia ya diluido que penetra dentro del digestor por día;
- Tiempo de retención: Este parámetro indica la cantidad de tiempo en días que permanece el material dentro del digestor (Campos Cuní, 2011, p. 38).

Una de las razones constructivas que han provocado que las plantas de biogás con fines domésticos no funcionen con eficiencia, es la inadecuada relación entre el volumen del digestor, el volumen de la cámara de fermentación y el volumen de la cúpula. En forma general para uso en iluminación y cocción de alimentos se deben contar con cúpulas capaces de almacenar el 60% de la producción diaria de biogás.

(Campos Cuní, 2011, p. 39).

2.2.1.6 LOS PRE TRATAMIENTOS FÍSICOS

Pueden ser utilizados cuando existen problemas referidos con la baja degradación de los sustratos, bajo rendimiento de metano, inestabilidad de los pasos o procesos de la degradación anaeróbica, en estos casos, estas condiciones pueden ser mejoradas utilizando tratamientos físicos-mecánicos tales como: molinado, homogenización a alta presión,

térmicos y ultrasónicos. La aplicación de pre-tratamientos físicos puede incrementar el rango de la hidrólisis e incrementar la biodegradabilidad anaeróbica de los sustratos, especialmente los residuos sólidos municipales (Martínez Hernández, M, & García López, 2016, p. 83).

Una de las principales variables influyentes en el proceso de combustión del biogás es la mezcla de oxígeno y biogás. Se toma muy en cuenta la cantidad de oxígeno disponible en el aire, la misma puede ser expresada como: $CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2 H_2O$ (Jiménez Lira, 2016, p. 95).

Finalmente, la eficiencia de combustión es la medida de cuanta energía liberada por la combustión, puede ser efectivamente aprovechada. La eficiencia de combustión es obtenida sustrayendo el calor contenido en los gases de combustión (expresado como un porcentaje del contenido calorífico del combustible) del potencial total de calentamiento del combustible. Para llevar a cabo este ensayo, se requirió de una campana de captura (sistema cerrado), KIGAZ, reservorio de biogás y cocina (quemador boliviano) (Jiménez Lira1, 2016, p. 97).

2.2.1.7 ESTRUCTURA DE UN BIODIGESTOR

Este biodigestor (cf. Ilustración 1.c) fue desarrollado como consecuencia a la necesidad de buscar nuevas formas de combustibles en India. Está hecho de un reactor de ladrillas o concreto cilíndrico o en forma de domo, coronado por una cúpula flotante que se desplaza debajo del suelo según un axis vertical: si se produce biogás, la cúpula se desplaza hacia arriba, y si se consume el gas, se desplaza hacia abajo; de esta manera es fácil controlar la cantidad de biogás almacenada en el biodigestor. En general se usa una cúpula de acero, pero también existen modelos con cúpula de plástico reforzado por fibra de vidrio o de HDPE3,

pero los costes son más elevados en estos últimos casos. La cúpula flotante debe ser protegida de la corrosión. El biodigestor trabaja a presión constante y su operación es fácil; se carga diariamente, generalmente con una mezcla de estiércol animal o humano. En el ámbito de una utilización doméstica, su tamaño varía en general entre 5 y 15 m³, pero puede alcanzar 100 m³ en grandes fincas agro-industriales. Su duración es más corta que la del biodigestor chino, llegando a 15 años en los casos favorables, pero sólo a 5 años en zonas costeras tropicales (Manual-técnico-y-difusión-AF-biodigestores-VF-110617.pdf”, s/f, p. 11).

En el diseño del biodigestor se busca acercar lo más posible el tiempo de retención, o sea el tiempo que pasa el estiércol en el reactor antes de salir digerido en estado de biol, de esta duración. Entonces está directamente relacionado con la actividad de las bacterias (cuanta más actividad bacteriológica, más rápida será la degradación de las materias orgánicas y por tanto menor el tiempo de retención). Como la actividad de las bacterias crece con la temperatura ambiente, el tiempo de retención es inversamente correlacionado a ella. La temperatura ambiente depende naturalmente de la región de ubicación del biodigestor (Manual-técnico-y-difusión-AF-biodigestores-VF-110617.pdf”, s/f, p. 17).

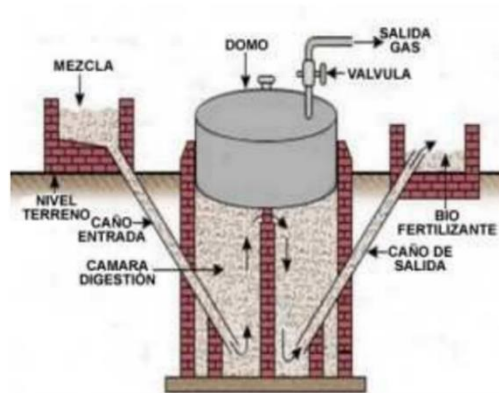


Ilustración 1.c: Tipo hindú²

Figura 2 Diseño de construcción de un biodigestor tipo hindú

Fuente Manual-técnico-y-difusión-AF-biodigestores.

2.2.1.8 PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

“El biogás se puede producir a partir de la digestión anaerobia utilizando la biomasa residual disponible localmente de diversas fuentes (residuos animales, aguas residuales domésticas, aguas residuales industriales, residuos agrícolas, etc.)” (Challenges in biogas production from anaerobic membrane bioreactors», s. f., p. 121).

Para su correcto uso deben ser eliminados: el CO_2 por no ser combustible y de carácter tóxico, así como el H_2S , que resulta corrosivo para los metales y tóxico para los humanos. Por lo dicho, es importante purificar el biogás, tanto por la salud de las personas como por la eficiencia del generador (Ponce, 2016).

Primeramente, hay que limpiar el biogás extrayendo el CO_2 y el H_2S , lo que se hace mediante un sistema de torre de limpieza. Esta consiste en un depósito cilíndrico vertical rellena con pebbles (piedritas). Desde la parte inferior se bombea el gas y desde la superior

de descarga a agua a presión por un sistema de regaderas. El metano sale puro por el sector alto y el CO₂ con el H₂S son disueltos y arrastrados por el agua (Carlos-Hernández et al., 2014).

Metanogénesis: En esta etapa, los últimos compuestos son tomados dentro de las células bacteriales metanogénicas convirtiéndolos en metano y excretándolo fuera de la célula. Este es un periodo de digestión intensiva, de carácter de fermentación alcalina, en el cual hay una digestión de las materias resistentes, de las proteínas, de los aminoácidos, y de la celulosa; se caracteriza por la producción de sales de ácidos orgánicos y volúmenes de gas, en una mezcla donde hay un alto porcentaje de metano, y el resto corresponde a dióxido de carbono (CO₂) y nitrógeno; Como características del material digerido, están el olor a alquitrán, hay pequeñas cantidades de sólidos flotantes, y el pH se ubica en la zona alcalina, con valores entre 6.9 y 7.4 ([Guevara 1996].(«luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf», s. f., p. 10)).

(Carta, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009). Afirman que la producción de energía eléctrica a base de gas que se obtiene de biomasa residual, tiene muchas similitudes a la obtención de electricidad con una central de vapor convencional, con la diferencia que en este proceso no se quema combustible fósil, sino que la turbina se acciona por los gases producidos por la combustión de la biomasa liberando vapor a altas temperaturas lo que hace accionar las turbinas y así generar electricidad.

Las biomásas con mejor rendimiento específico de metano son el girasol JE-94 (0,393 m³ CH₄/kg oTS) y el maíz (0,346 m³ CH₄/kg oTS). Resultando las biomásas cáscara de maní(0,095 m³/kg VSa) e inóculo (excreta bovina), las biomásas de menor rendimiento específico de metano((Hernández, M, Oechsner, Brulé, & Marañon Maison, 2014, p. 68)).

2.2.2 FERMENTACION METANOGENICA

2.2.2.1 ETAPAS DE LA FERMENTACION METANOGENICA

La digestión anaeróbica es un complejo proceso de reacciones bioquímicas que se dan por los microorganismos involucrados en ellas, y muchas se dan de forma simultánea (Manual de Biogás, 2011, p18).

Según los estudios bioquímicos y microbiológicos, se divide el proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica en cuatro fases o etapas:

1. Hidrolisis
2. Etapa fermentada o acidogénica
3. Etapa acetogénica
4. Etapa metanogénica

La primera etapa es la hidrolisis de partículas y moléculas complejas (proteínas, carbohidratos y lípidos) los cuales son hidrolizados por encimas enzimas extracelulares producidas por los microorganismos acidogénicos o fermentativos. Como resultado se

producen compuestos solubles más sencillos (aminoácidos, azúcares y ácidos grasos de cadena larga) que serán metabolizados por las bacterias acidogénicas dando lugar, principalmente, ácidos grasos de cadena corta, alcoholes, hidrogeno, dióxido de carbono y otros productos intermedios. Los ácidos grasos de cadena corta son transformados en ácido acético, hidrogeno y dióxido de carbono, mediante la acción de los microorganismos acetogénicos. Por último, los microorganismos metanogénicos producen metano a partir de ácido acético, H_2 y CO_2 (Manual de Biogás, 2011, p18).

La siguiente figura muestra esquemáticamente las distintas fases del proceso de digestión anaeróbica, los microorganismos que intervienen en cada una de ellas y los productos intermedios generados.

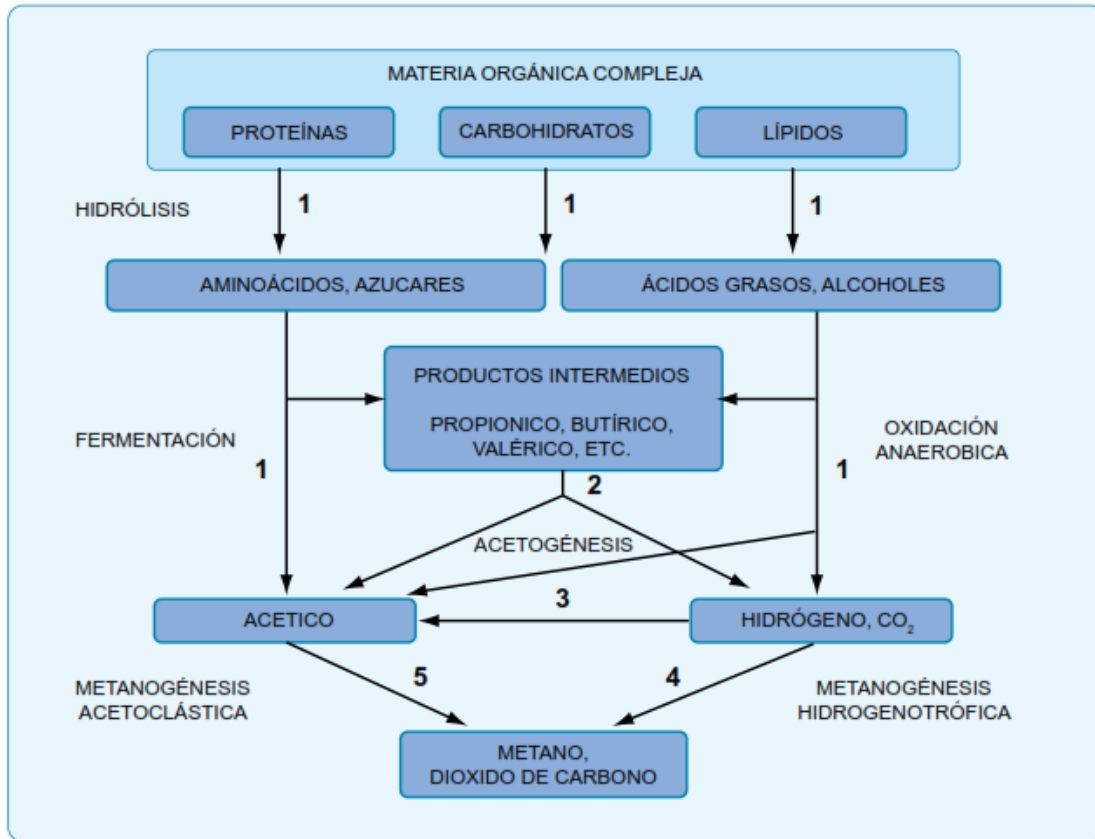


Figura 3. Esquema de reacciones de la digestión anaeróbica de materiales poliméricos
Fuente Manual del Biogás, 2011

2.2.3 PROPIEDADES DE LA COMBUSTIÓN

Las propiedades de combustión de una mezcla combustible comburente se determinan con el propósito de conocer la disponibilidad energética por cantidad de combustible, las condiciones para que ocurra la combustión, los requerimientos de aire para una combustión completa y la cantidad y composición de los productos de combustión (Amell, A. A., 2002).

A continuación, se realiza una breve descripción de cada una de estas propiedades.

Volumen estequiométrico de aire (V_a)

Volumen de humos húmedos (V_{hh})

Volumen de humos secos (Vhs)

Porcentaje máximo de CO₂

Temperatura de rocío (TR)

Temperatura adiabática de llama (Tad)

Velocidad de deflagración laminar (VL)

Mínima energía de ignición (EMI) (Cacua, Amell, & Olmos, 2011, pp. 235–236)

2.3 MARCO LEGAL

2.3.1 DECRETO # 70-2007. LEY DE PROMOCIÓN A LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON RECURSOS RENOVABLES.

CAPÍTULO I: de los incentivos a la generación de energía eléctrica con recursos renovables

ARTICULO 5. Podrán acogerse al régimen de incentivos establecidos en esta ley, aquellas instalaciones de producción de energía que utilicen como energía primaria alguna de las energías renovables no consumibles, biomasa o cualquier tipo de biocarburante.

INCISO 5. Centrales que utilicen como combustible principal biomasa procedente de cultivos energéticos, residuos agrícolas, ganaderos, forestales, cualquier tipo de biocarburante, biogás u otros derivados de la biomasa. Se entenderá como combustible principal aquel que represente como mínimo el 90% de la energía primaria utilizada. Las centrales de biomasa podrán generar con otra materia prima renovable, respetando el precio pactado.

CAPITULO VIII. Del aprovechamiento y concesión de los recursos naturales nacionales.

ARTÍCULO 22: los proyectos de generación de energía eléctrica con recursos naturales nacionales que utilicen para su producción recursos naturales diferentes a la fuerza hidráulica de las aguas nacionales, tales como los que utilicen recurso eólico, solar, biomasa, geotérmico, energía de mar o mareas, y residuos urbanos, obtendrán la concesión de uso para el aprovechamiento del recurso natural utilizado para la generación de energía y del área correspondiente donde se encuentre el recurso natural renovable, del desarrollo e instalaciones del proyecto, a través de los respectivos contratos de operación y en el mismo se establecerán las modalidades para el uso y aprovechamiento de dichos recursos naturales.

2.3.2 DECRETO # 295-2013. REFORMA DE LOS ARTICULOS 5 Y 12 DE LA LEY PARA LA PRODUCCION Y CONSUMO DE BIOCOMBUSTIBLES.

ARTICULO 12 REFORMADO

INCISO C. GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA A PARTIR DE BIOMASA Y BIOGAS La generación de energía eléctrica a partir de biomasa forestal o biogás producido en el país, tienen la prioridad en los procesos de compra de energía que requiera la Empresa Nacional de Energía de Eléctrica (ENEE) y esta disposición es de carácter obligatorio para la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) y para las demás autoridades competentes y, aplicable en todo el territorio nacional a partir de la vigencia legal del presente Decreto en adelante.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 MATRIZ METODOLÓGICA

Tabla 1. Matriz Metodológica

| TÍTULO | PROBLEMA | PREGUNTAS DE INVESTIGACION | OBJETIVOS | | VARIABLES | |
|---|---|---|--|---|----------------------|--|
| | | | GENERAL | ESPECIFICOS | INDEPENDIENTE | DEPENDIENTE |
| Evaluación preliminar de obtención de metano con biodigestores a partir de cerdaza de distintas dietas alimenticias | Deficiencia en el suministro energético y contaminación ambiental por su mal manejo | ¿Hay diferencia en la producción de metano entre los dos tratamientos de biodigestores de cerdaza de las dietas alimenticias? | Evaluar de manera preliminar la obtención de metano con biodigestores a partir de cerdaza de dos dietas alimenticias distintas, para identificar que dieta proporciona el mayor potencial energético, como base para futuras investigaciones de eficiencia en la generación de energía eléctrica y calor | Instalar un modelo didáctico de biodigestor que permita su fácil traslado, ubicación, llenado de influentes y vaciado para limpieza, así como la recolección del biogás | Dieta #1 | Porcentaje de Metano (%CH ₄) |
| | | ¿Qué granja posee mayor potencial energético en base a sus residuos de cerdaza? | | Recolectar muestras de biogás para analizarlas e identificar si existe diferencia en los porcentajes de metano de cada una | Dieta #2 | |
| | | ¿Qué importancia tiene conocer los porcentajes de metano producidos por cada tratamiento para futuras investigaciones? | | Cuantificar la proporción de metano de cada muestra de biogás | Temperatura ambiente | |
| | | | | Determinar que aplicación del biogás es más significativa para cada granja | Tiempo de Digestion | |
| | | | Enunciar que aportes tiene este trabajo para futuras investigaciones en el campo de las energías renovables | | | |

Fuente propia

3.2 DEFINICIÓN OPERACIONAL DE LAS VARIABLES

3.2.1 DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LAS VARIABLES

Variable, es aquella “propiedad que tiene una variación que puede medirse u observarse” (Collado, Sampier, 2008, p.125). Para darle sentido a la hipótesis y la investigación misma, las variables se deben relacionar con el problema de investigación, es preciso definirlas con claridad, con el objetivo de procurar que el significado de las mismas sea uniforme y los resultados de la evaluación de la hipótesis sean los más acertados.

3.2.2 DEFINICIÓN OPERACIONAL DE LAS VARIABLES

Es necesario definir las variables en dos sentidos: conceptualmente y operacionalmente. En el primer caso, se trata de una definición de diccionario. El segundo caso, se refiere a una definición que pretende especificar cómo será medida la variable propuesta.

Es preciso indicar que la investigación enmarca dos tipos de variables: Variables Dependientes; Variables Independientes; en este sentido, las Variables Dependientes son susceptibles al comportamiento de las Variables Independientes.

Tabla 2. Definición Conceptual y Operacional de las Variables.

| VARIABLE | TIPO DE VARIABLE | VARIABLE CONCEPTUAL | VARIABLE OPERACIONAL |
|-----------------|-------------------------|--|-----------------------------|
| Dieta #1 | Independiente | Alimento proporcionado a los cerdos a base de concentrado de crecimiento más agua. | Dieta 1 |
| | | Alimento proporcionado a los | |

| | | | |
|------------------------|---------------|--|----------------|
| Dieta #2 | Independiente | cerdos a base de maíz cocido más suero lácteo. | Dieta 2 |
| Temperatura Ambiente | Independiente | Temperatura a la cual han sido expuestos los biodigestores. | Grados Celsius |
| Tiempo de Fermentación | Independiente | Porcentaje de CH ₄ que se encuentra en el gas que se obtenga. | Días |
| Porcentaje de Metano | Dependiente | Porcentaje de CH ₄ que se encuentra en el gas que se obtenga. | % |

Fuente propia

3.3 ENFOQUE Y MÉTODOS

El enfoque aplicado a este proyecto va dirigido a un estudio de recolección de datos medidos, organizados y analizados en forma de bloques al azar reduciendo así la variabilidad de los datos con el objetivo de obtener resultados que puedan demostrar si existe una diferencia significativa en la producción de metano utilizando distintas dietas que podrían provocar mejoras en la eficiencia para la generación de energía eléctrica y calor para utilizarse en las propias granjas.

El enfoque que se desarrolló en el estudio fue cuantitativo debido a que se obtuvieron resultados numéricos de la concentración de gases como el oxígeno, dióxido de carbono y metano presente en cada muestra de biogás analizado, llevada a cabo en el marco de una investigación descriptiva- correlacional, la cual inicio de forma descriptiva identificando las variables que inciden en la producción de biogás para luego analizadas y determinar cual posee el mayor porcentaje de metano. Posteriormente se plantea el diseño de la investigación

considerando el planteamiento del problema y la definición del método de análisis que arroja resultados congruentes.

El método de investigación utilizado en este trabajo es cuantitativo con estudio exploratorio; Según HERNANDEZ SAMPIERI (2014) Las investigaciones experimentales de temas poco estudiados en los que es necesario recabar información cuantitativa, tienen un alcance exploratorio, debido a que sirven de base para estudios de mayor profundidad en el tema, este tipo de estudio no posee hipótesis, ya que no pretende confirmar un enunciado sino demostrar que el tema tiene potencial de investigación.

3.4 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Se plantea un diseño experimental, debido a que se evaluaron las variables obtenidas en cada uno de los muestreos, tales como volumen de biogás y proporción de metano, tomando en cuenta la proporción del influente mostrado a continuación.

Tabla 3. Proporción de mezcla y producción de Biogás

| Proporción de mezcla y producción de Biogás | | |
|--|--|---|
| | Proporción de mezcla Estiércol/Agua | Producción Biogás |
| Estiércol Porcino | ½ | 13 kg (28.678 Lb) de estiércol porcino ---> 1m ³ de Biogás |

Fuente: Rivas Solano, Olga. (2010)

3.4.1 ETAPAS DEL EXPERIMENTO

1. IDENTIFICACIÓN DE FINCAS

Se realizó un recorrido por la zona para identificar las fincas de producción porcina que manejaron lotes de cerdo con similares condiciones teniendo variación en la alimentación.

2. RECOLECCIÓN DE CERDAZA

Se recolectaron muestras de cerdaza para llevarlas al sitio donde estaban instalados los biodigestores, lugar denominado finca Rosy donde fue nuestro sitio experimental.

3. CARGA DEL BIODIGESTOR CON INFLUENTE DE CERDAZA

Se realizaron las mezclas de cerdaza provenientes de las dos dietas de alimentación de los cerdos; quedando proporciones de 2:1 lo que indica 2 partes de agua y 1 parte de cerdaza. Después se procedió a llenar cada uno de los biodigestores con cada mezcla preparada. Este proceso se realizó dos veces durante el período de realización del experimento.

4. PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Después de realizada la carga de biodigestores se dejó por un tiempo de 10 días tiempo mínimo requerido para que se pueda realizar la digestión del influente a temperaturas medias de 25 a 30 grados centígrados.

5. TOMA DE MUESTRAS DE BIOGÁS

Al pasar el tiempo requerido para la producción de biogás, se determinó tomar muestras de éste llenando bolsas plásticas las cuales se sellaron herméticamente para evitar la fuga de

biogás y que la muestra llegara con la menor pérdida posible a laboratorio en las instalaciones del cuerpo de bomberos en Tegucigalpa.

6. ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE BIOGÁS

Para su análisis de composición de gases las muestras fueron llevadas a las instalaciones del cuerpo de bomberos en Tegucigalpa donde se analizaron con gasómetro para conocer las concentraciones de; metano (CH₄), oxígeno (O₂), y dióxido de carbono (CO₂), para ese periodo de tiempo de digestión del influente.

7. ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE ENERGÍA DEL BIOGÁS

En base a los resultados obtenidos se realizó un análisis preliminar y exploratorio del potencial de generación de energía eléctrica a partir de las concentraciones de metano encontradas en el biogás producido en los biodigestores.

3.5 MUESTRA

Las muestras de cerdaza utilizando el mismo influente se tomaron de las siguientes granjas considerando que poseen la misma raza Landrace, con la diferencia que se le suministra distinta alimentación.

Tabla 4. Muestras de dietas alimenticias

| Granjas Experimentales | Dietas Alimenticias | Muestreos (Lb.) | | |
|------------------------|-----------------------|---------------------|-----|-------|
| | | Días de Recolección | | Total |
| | | 1 | 2 | |
| 1 | #1 Concentrado, Agua | 108 | 108 | 216 |
| 2 | #2 Maíz cocido, Suero | 108 | 108 | 216 |

3.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

3.6.1 TÉCNICAS

- Muestreo de biogás
- Análisis de muestras
- Tabulación de datos obtenidos.

3.6.2 MATERIALES Y HERRAMIENTAS

- Cinta métrica
- Baldes plásticos de 21 Litros
- Balanza de brazo tipo romana.
- Barril plástico de 200 litros
- Bolsas plásticas de alta resistencia
- Cinta adhesiva
- Libreta
- Lápiz
- Cámara Fotográfica

3.6.3 PROCEDIMIENTOS

Se visitaron las granjas porcinas, se recolectó la cerdaza, se cargaron los biodigestores, cosechó y analizó cada muestra de biogás, se identificaron y tabularon los datos.

3.6.3.1 RECOLECCION DE MUESTRAS

Se visitaron de manera aleatoria las granjas, de las cuales se recolectó la cantidad total producida diaria de cerdaza utilizando baldes plásticos de 21 litros cubiertos bolsas plásticas de basura.

La muestra de cerdaza se mide utilizando una balanza de brazo tipo romana.

Cada muestra se diluyó en proporción del doble de su volumen de agua 2:1 y se vertió en un biodigestor.

3.6.3.2 PROGRAMA DE MUESTREO

Tabla 5. Hora de recolección de muestras

| Granja | Fecha 1 | hora | Fecha 2 | Hora |
|---------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|
| X | 15/02/2017 | 06:00am | 17/02/2017 | 06:00am |
| Y | 15/02/2017 | 12:00m | 17/02/2017 | 12:00m |

3.7 DETERMINACION DE VOLUMEN Y PUREZA DEL BIOGAS

Teóricamente podemos calcular el volumen del biogás mediante las fórmulas de $V=M/D$, donde V=volumen, M= masa y D=densidad. Se toma en cuenta que el porcentaje de biomasa

que es convertido a metano y dióxido de carbono, es aproximadamente el 70%, y de este biogás se obtiene entre 60% a 80% de Metano. (Rivas Solano, Olga. 2010).

Para el desarrollo de la investigación contamos con dos biodigestores cilíndricos metálicos, de acero inoxidable, cada uno con capacidad de almacenamiento de 200 lts, los cuales tienen la salida de efluentes sellada y en la salida de gas de la campana una boquilla con un manómetro para medir la presión que alcanza internamente el biogás en un tiempo determinado que depende de las condiciones de temperatura ambiente a la cual este expuesto el biodigestor.

Tabla 6. Días de fermentación del influente según el rango de temperatura

| Temperatura Ambiente | Días de fermentado |
|----------------------|--------------------|
| 10 °C | 30 |
| 15°C < x < 25°C | 20 |
| 30°C promedio | 10 |

(Fuente: Rivas Solano, Olga. 2010)

La pureza del biogás se determinará tomando una muestra de cada biodigestor y analizándola con un gasómetro que pertenece al cuerpo de bomberos de Honduras.

3.8 TABLA DE DATOS

Tabla 7. Volumen estimado de producción de Biogás

| Gas | Densidad (Kg/m3) |
|--------|------------------|
| Biogás | 1.2 |
| Metano | 0.71 |

Fuente Rivas Solano, Olga. (2010).

3.9 LIMITANTES DEL ESTUDIO

La principal limitante encontrada es la no existencia en el país de laboratorios para analizar el porcentaje de CH₄ en el biogás que se obtiene, dicho análisis se realizara gracias a un aparato denominado Gasómetro que utiliza el cuerpo de Bomberos de la ciudad de Tegucigalpa a más de 200 km de distancia del sitio del experimento.

CAPITULO IV. RESULTADOS

4.1 DESCRIPCION DEL SITIO EXPERIMENTAL

El desarrollo de la tesis se realizó obteniendo la información y materia prima de las diferentes granjas perteneciente al municipio de Santa María del Real el cual se localiza en la región oriental de Honduras, en el departamento de Olancho específicamente entre los paralelos 14° 7' 49" a 172° 45' 0" de latitud norte y entre los 85° 55" a 48° 03" de longitud oeste, está a una altitud de 440 metros sobre el nivel del mar, su extensión territorial, es de 233.6 Km²

Está ubicado hacia la carretera principal del departamento, sus colindantes son al norte el municipio de Gualaco y San Francisco de la Paz, al sur los municipios de Catacamas, San Francisco de Becerra y Juticalpa, al este con el municipio de Catacamas y al oeste con los municipios de San Francisco de la Paz, San Francisco de Becerra y Juticalpa, a 4 Km de la ciudad de Catacamas y a 205 Km de la capital de la Republica.

En cuanto a la precipitación pluvial el municipio de Santa María del Real, presenta un promedio anual de 1,150 mm. Por lo general el mes más seco del año con un promedio de 19mm el mes de septiembre se presenta el promedio máximo de lluvias con una precipitación de 211mm, la humedad relativa del aire es de 74% y las temperaturas varían entre los 30°C máximo y 18°C mínimo.

4.2 DISEÑO DE BLOQUES AL AZAR

Si el factor es conocido y controlable se utilizan bloques para eliminar su efecto en la comparación estadística del tratamiento. Nuestro objetivo es obtener comparaciones precisas entre los tratamientos bajo estudio. Utilizar bloque es una forma de reducir y controlar la

varianza del error experimental para tener mayor precisión ya que existen factores como la edad, el peso de los animales, diferentes bloques de material, y parcelas alejadas que son ejemplo de variables externas a los tratamientos que pueden incrementar la variación entre las observaciones de la variable de respuesta.

Nuestro objetivo es tener comparaciones precisas entre los tratamientos bajo estudio. Utilizar bloques es una forma de reducir y controlar la varianza del error experimental para tener mayor precisión. En el diseño completamente al azar se supone que las muestras son relativamente homogéneas con respecto a factores que afectan la variable de respuesta. Sin embargo, algunas veces no tenemos disponibles suficiente número de muestras homogéneas. Cualquier factor que afecte la variable de respuesta y que varíe entre aumentará la varianza del error experimental y disminuirá la precisión de las comparaciones. Factores como la edad y el peso de los animales, son ejemplos de variables externas a los tratamientos que pueden incrementar la variación entre las observaciones de la variable de respuesta.

(www.dpye.iimas.unam.mx/patricia/indexer/bloques.pdf).

| tratamiento | bloque | | | | medias de tratamientos |
|------------------|----------------|----------------|-----|----------------|------------------------|
| | 1 | 2 | ... | b | |
| 1 | y_{11} | y_{12} | ... | y_{1b} | $\bar{y}_{1.}$ |
| 2 | y_{21} | y_{22} | ... | y_{2b} | $\bar{y}_{2.}$ |
| .. | .. | .. | .. | ... | .. |
| .. | .. | .. | .. | ... | .. |
| t | y_{t1} | y_{t2} | ... | y_{tb} | $\bar{y}_{t.}$ |
| medias de bloque | $\bar{y}_{.1}$ | $\bar{y}_{.2}$ | ... | $\bar{y}_{.b}$ | $\bar{y}_{..}$ |

Figura 4. Diseño de bloques al azar

Fuente: (www.dpye.iimas.unam.mx/patricia/indexer/bloques.pdf).

Tabla 8. Diseño del Experimento

| Días | Orden de Recolección | |
|------|----------------------|----|
| 1 | T1 | T2 |
| 2 | T2 | T1 |

T1: Concentrado + Agua
T2: Maíz cocido + Suero Lácteo

4.3 PORCENTAJE DE METANO OBTENIDO EN ANÁLISIS DE MUESTRAS DE BIOGÁS OBTENIDAS

Los biodigestores metálicos fueron instalados en el sitio experimental donde se cargaron con las muestras de cerdaza provenientes de las dos granjas porcinas, con una temperatura máxima promedio de 30 grados Celsius durante un tiempo de 15 días para la producción de biogás, y se tomaron 3 muestras de cada biodigestor para su análisis.

En la tabla #9 se muestran las proporciones de metano presentes en el biogás de los biodigestores, a partir de un gasómetro, obteniendo como resultados; tratamiento #1 salvado + agua como dieta alimenticia para la producción de cerdaza, un porcentaje de 10 % y el tratamiento # 2 con un porcentaje de 25 %.

Tabla 9. Resultados obtenidos en porcentaje de Metano.

| DIETA ALIMENTICIA | GASES | ANALISIS #1 | | ANALISIS #2 | | ANALISIS #3 | | PROMEDIO | |
|-------------------------------|--------------------------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|------|----------|-------|
| | | PPM | % | PPM | % | PPM | % | PPM | % |
| #1 CONCENTRADO + AGUA | METANO (CH4) | 1.6 | 34.3 | 100 | 74 | 100 | 70 | 67.2 | 59.44 |
| | DIOXIDO DE CARBONO (CO2) | 2 | 46.7 | 24 | 18 | 33 | 23 | 19.67 | 29.24 |
| | OXIGENO (O2) | 0.685 | 16 | 10.78 | 8 | 10 | 7 | 7.16 | 10.34 |
| #2 MAIZ COCIDO + SUERO LACTEO | METANO (CH4) | 100 | 89.72 | 100 | 58.61 | 250.8 | 59.7 | 150.27 | 69.35 |
| | DIOXIDO DE CARBONO (CO2) | 10 | 8.97 | 51 | 29.9 | 87 | 20.7 | 49.34 | 19.86 |
| | OXIGENO (O2) | 1.45 | 1.3 | 19.62 | 11.5 | 82.35 | 19.6 | 34.48 | 10.8 |

| | |
|--|---------------------|
| | Datos del Gasometro |
| | Datos Calculados |

Fuente propia, Resultados del Análisis del Gasómetro y Calculados.

La tabla nos muestra los resultados medidos con el gasómetro en unidades de partes por millón PPM de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), más el porcentaje de masa del oxígeno (O₂).

Por lo que para conocer el porcentaje de Metano y CO₂ es necesario realizar los siguientes cálculos para uno del análisis tomado al azar.

Ejemplo de cálculo de porcentajes para el análisis #3 de la dieta #1.

Sean:

$$100 + 33 + x = y$$

Donde:

$$100 = \text{partes por millon medidas de metano}$$

$$33 = \text{partes por millon medidas de CO}_2$$

$$x = \text{partes por millon de oxigeno}$$

$$y = \text{partes por millon totales}$$

Sea:

$$\frac{x}{y} = 0.07$$

Donde:

0.07 es el porcentaje medido de oxígeno

$$x = 0.07y$$

Se tiene un sistema de dos ecuaciones y dos incógnitas, por lo que se resuelve el sistema utilizando el método de sustitución y nos queda.

$$100 + 33 + 0.07y = y$$

Al resolver y despejar para y nos queda que $y = 143$ partes por millón totales.

$$x = 0.07y \quad x = 0.07(143) = 10$$

Lo que nos permite tabular los datos que están incluidos en la tabla #9

Tabla 10. Cálculo de porcentaje de Metano.

| DIETA ALIMENTICIA | GASES | ANÁLISIS #3 | |
|-----------------------|---------------------------------------|-------------|-----|
| | | PPM | % |
| #1 CONCENTRADO + AGUA | METANO (CH ₄) | 100 | 70 |
| | DIOXIDO DE CARBONO (CO ₂) | 33 | 23 |
| | OXIGENO (O ₂) | 10 | 7 |
| TOTALES | | 143 | 100 |

Fuente propia, Resultados del Análisis del Gasómetro y Calculados

Donde el porcentaje (%) de metano y CO₂ se calcula dividiendo las partes por millón de cada uno entre las totales (*La Química, William S. Seese, 2005, p.431*)

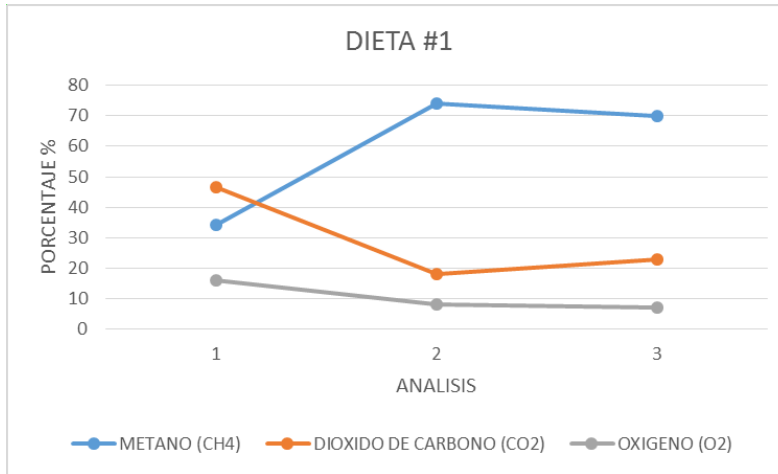


Figura 5. Grafico de porcentaje de produccion de gases de la dieta o tratamiento #1

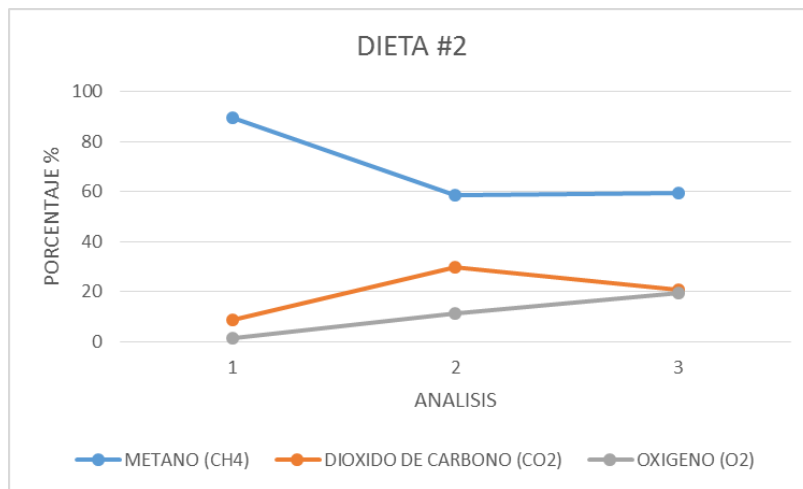


Figura 6. Grafico de porcentaje de produccion de gases de la dieta o tratamiento #2
(Fuente propia, grafica de datos de la tabla #9)

Las tres muestras fueron recolectadas el mismo dia en horas de la mañana y se observa que los analisis #2 y #3 presentan datos similares entre si, no asi el analisis #1 el cual nos arroja valores distintos pero validos debido a que la muestra se tomo en las mismas condiciones

que las dos siguientes y que representa el gas que se acumulo mas proximo a la boquilla de extraccion del biogas, considerando que el modelo de biodigestor utilizado no cuenta con un sistema que permita el constante Las tres muestras fueron recolectadas el mismo dia en horas de la mañana y se observa que los analisis #2 y #3 presentan datos similares entre si, no asi el analisis #1 el cual nos arroja valores distintos pero validos debido a que la muestra se tomo en las mismas condiciones movimiento de la materia depositada, el cual acelera la degradacion molecular, por lo tanto es tomada en cuenta para calcular el valor promedio.

El tratamiento de la cerdaza, cuya dieta era concentrado de crecimiento más agua presento menor producción de gas metano en porcentaje, esto se debe a la composición de química de todos los agregados como el maíz, trigo, soya y sorgo que presentan menos degradación molecular debido a sus cadenas de carbono dando como resultado menor cantidad de metano disponible comparado con el maíz cocido más el agregado del suero lácteo.

El porcentaje de metano obtenido (69.35%) en el tratamiento #2, ideal para iniciar un sistema de energía eléctrica con una turbina, debido a que teóricamente se maneja que el porcentaje óptimo de metano para generar electricidad es por arriba del 60%.

Teóricamente en el biogás, el porcentaje de metano ronda entre el 55% a 70%, el dióxido de carbono entre el 25% y 35%, el resto entre oxígeno y nitrógeno (Machado *et al.* 2009).

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Se presentan diferencias en la producción de biogás y cantidad de metano de cada tratamiento, lo que indica que una granja posee la alimentación que más favorece los procesos de biodigestión en las condiciones descritas.

La finca que corresponde al tratamiento # 2 cuya alimentación es Maíz cocido + suero lácteo, presenta mayor potencial energético debido a los resultados obtenidos en los análisis de biogás con un 69.35% de metano, mayor al tratamiento de alimentación de concentrado + agua.

Los resultados obtenidos en los análisis con gasómetro nos muestran que los porcentajes de metano obtenidos con la dieta de maíz son óptimos para generar combustión en una turbina de generación de energía eléctrica que necesita un porcentaje mayor que 60% de metano disponible, esto es importante para futuros estudios sobre medición de eficiencia en los procesos energéticos de biogás.

La incidencia de los tratamientos en la producción de metano es evidente al analizar los resultados obtenidos con el gasómetro utilizado para determinar la concentración de los gases presentes en el biogás, esto sirve de pauta para próximos experimentos en los cuales se necesite cuantificar la producción de metano a base de otras materias primas.

5.2 RECOMENDACIONES

- Al gobierno de la república o inversión privada, instalar uno o más laboratorios que cuenten con el equipo necesario para realizar todos los análisis que se requieren para que estudios como este se puedan realizar de manera más completa.
- Realizar el experimento en un periodo de tiempo mayor para obtener la curva de producción de biogás y metano en biodigestores.
- Promover los biodigestores como tecnología para el aprovechamiento de gas en la cocción de alimentos y producción de energía eléctrica.
- Crear políticas gubernamentales que incentiven el uso de los biodigestores como tecnología para el aprovechamiento de gas y efluentes como biofertilizantes para los cultivos.

APORTES DE LA INVESTIGACIÓN

Este trabajo de investigación abre el camino para nuevas tesis orientadas no solo al análisis de biogás, sino a la eficiencia que puede presentar y como modificar esa eficiencia tomando en cuenta el potencial pecuario de nuestro país, proyectando una visión integral de desarrollo para las zonas rurales, granjas modelo en donde se puede llegar a promover cultivos que tanto representen menores costos de producción por el uso de biofertilizantes, estos a su vez tengan un alto potencial de generación de metano y que este último supla las necesidades energéticas de la granja, ayudando sustancialmente a mejorar las condiciones de vida de la región.

REFERENCIAS

- Acosta, A. (2012). Biocombustibles. Recuperado a partir de <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10721676>
- Biodigestores Familiares Guía de Diseñ - Documents. (s. f.). Recuperado 10 de febrero de 2017, a partir de <http://dokumen.tips/documents/biodigestores-familiares-guia-de-disen.html>
- Campos Cuní, B. (2011). Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo y campesino. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(2), 37-41.
- Camps Michelena, M., & Marcos Martín, F. (2008). *Los biocombustibles (2a. ed.)*. Madrid, ES: Mundi-Prensa. Recuperado a partir de <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10268727>
- Carlos-Hernández, S., Sanchez, E. N., Béteau, J.-F., & Jiménez, L. D. (2014). Análisis de un Proceso de Tratamiento de Efluentes para Producción de Metano. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 11(2), 236-246. <https://doi.org/10.1016/j.riai.2014.02.006>
- Carta, J. A., Calero Perez, R., Colmenar Santos, A., & Castro Gil, M.-A. (2009). *Centrales de Energías Renovables: Generacion Electrica con Energias Renovables (1.ª ed.)*.

España: pearson educacion. Recuperado a partir de
<https://www.biblionline.pearson.com/Pages/BookDetail.aspx?b=269>

Cervi, R. G., Esperancini, M. S. T., & Bueno, O. de C. (2011). Viabilidad Económica de la Utilización de Biogás para la Conversión en Energía Eléctrica. *Información tecnológica*, 22(4), 3-14. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642011000400002>

Cevallos P., Wendy K., V., H., & Karen L. (2013). *Estimación del potencial energético a partir del metano producido por las aguas residuales procedentes de la granja porcina de Zamorano*. Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2013, Zamorano, Elparaiso, Honduras. Recuperado a partir de <http://hdl.handle.net/11036/1782>

DAUB & SEESE. *QUIMICA*. Pearson Education, 8ª Edición, 2005.

Flores Castro, Wilfredo César. (2016). *El sector energía de Honduras: aspectos necesarios para su comprensión y estudio* (1.^a ed.). Honduras: Centro Publicitario el Country.

Hernández Sampieri, r. (2014). *Metodología de la investigación* (sexta edición). México: McGraw-Hill/interamericana editores, S.A de C.V.

Hernández, M., M, C., Oechsner, H., Brulé, M., & Marañon Maison, E. (2014). Estudio de algunas propiedades físico-mecánicas y químicas de residuos orgánicos a utilizar en

la producción de biogás en Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(2), 63-69.

luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf. (s. f.). Recuperado a partir de <http://www.bdigital.unal.edu.co/7967/4/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf>

M., H., Ericka L., & Claire, María. (2010). Diseño de productos micro-crediticios para la adquisición de energía renovable en la Región del Yeguaré, Honduras. *Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana*, 2016, 40.

Machado S.L., Carvalho M.F., Gourc J., Vilar O.M., Nascimento J.C.D. (2009). *Methane generation in tropical landfills: Simplified methods and field results*. *Waste Management*, 29(1), 153-161.

Marín, E. A. C., Velásquez, H. J. C., & Cárdenas, E. L. M. (2011). Biocombustibles: búsqueda de alternativas*/Biofuel: the search for alternatives/Biocombustíveis: a busca de alternativas. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 6(2), 118-123.

Matías, C., Marta, C., Emilio, F., & Soledad, F. (2011). Biocombustibles y producción familiar en Uruguay: ¿una alianza posible? / Biofuels and family farming in Uruguay: A feasible alliance? *Agrociencia Uruguay*, (1), 137.

Medina I., Zilhigian I., Luna V., José A., Quiroz, Carlos, Vélez, Miguel, Vega, Marco, & Hincapié, John. (2009). *Estudio de pre factibilidad para el aprovechamiento del biogás con fines energéticos a partir del estiércol de ganado bovino en la Unidad de*

Ganado Lechero de Zamorano, Honduras. Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2012. Recuperado a partir de <http://hdl.handle.net/11036/414>

Ponce, E. (2016). Métodos sencillos en obtención de biogás rural y su conversión en electricidad. *Idesia (Arica)*, (ahead), 0-0. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292016005000011>

Varnero moreno, Maria Teresa. (2011). *Manual de Biogas*. Chile: Proyecto CHI/00/G32.

ANEXOS



Anexo #1: cocción de maíz para alimento de los cerdos



Anexo #2: la cerdaza en cuadras de cerdos



Anexo #3: Estuche para Gasómetro



Anexo #4: Gasómetro



Anexo #5: recolección para mezcla de cerdaza



Anexo #6: Llenado de Biodigestores.



Anexo #7: Biodigestores.



Anexo #8: Extracción de Biogás.