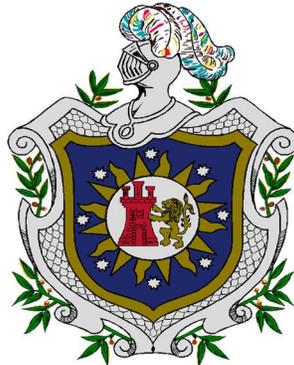


**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA**

**UNAN-MANAGUA**

**FACULTAD REGIONAL MULTIDISCIPLINARIA**

**FAREM - ESTELÍ**



**Trabajo monográfico para optar al título de Ingeniero en Energías Renovables**

Tema:

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.

**Carrera:** Ingeniería en Energías Renovables

**AUTORES**

- Br. Lester Alí Toruño Sotelo
- Br. Dina Massiel Casco Dávila
- Br. Edinso Israel Lira Ruiz.

**Tutor:** M.Sc. Edwin Antonio Reyes A.

Estelí 15/12/2016

## **TEMA DE INVESTIGACIÓN:**

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.

Línea de investigación: Biomasa

## ÍNDICE

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	11
1.2. Antecedentes .....	13
1.3. Justificación .....	17
CAPITULO II. OBJETIVOS.....	19
2.1. Objetivo General .....	19
2.2. Objetivos específicos .....	19
CAPITULO III. MARCO TEÓRICO.....	20
3.1. Energía de la biomasa .....	20
3.1.1. Clasificación de la biomasa.....	20
3.1.2. Biomasa natural .....	21
3.1.3. Biomasa residual seca .....	21
3.1.4. Biomasa residual húmeda .....	21
3.2. Fuentes de la biomasa.....	21
3.2.1. Granjas o fincas .....	21
3.2.2. Residuos de vegetales .....	21
3.2.3. Ciudades y poblados.....	22
3.2.4. Industrias.....	22
3.3. Procesos de la biomasa .....	22
3.3.1. Digestión anaerobia .....	23
3.3.2. Descripción de las fases del proceso.....	25
3.4. Factores que influyen en el proceso metanogénico .....	27
3.4.1. Tipo de materia prima.....	28
3.4.2. Parámetros de funcionamiento .....	30
3.4.3. Composición de la materia orgánica.....	32
3.5. Biodigestor .....	33

3.5.1. Tipos de biodigestores por su forma.....	33
3.6. Biogás .....	36
Concepto y utilización del biogás.....	36
3.6.1. Factores ambientales y el biogás .....	37
3.6.2. Composición del biogás.....	38
3.6.3. Purificación del biogás.....	38
3.6.3.1. Procedimiento con cal.....	39
CAPÍTULO IV. HIPÓTESIS DE INVESTIGACION.....	40
4.1. Matriz de operacionalización de las variables .....	40
CAPÍTULO V. DISEÑO METODOLOGICO .....	41
5.1. Ubicación del área de estudio.....	41
5.2. Tipo de estudio.....	41
5.4. El universo y ámbito .....	42
5.5. El tipo de muestreo .....	42
5.6. El tamaño de la muestra .....	42
5.7. Etapas de la investigación .....	43
CAPITULO VI. Resultados.....	53
CAPITULO VII. Conclusiones .....	63
CAPÍTULO VIII. Recomendaciones.....	65
CAPÍTULO IX. Cronograma.....	66
CAPÍTULO X. Bibliografía .....	67
CAPÍTULO XI. ANEXOS .....	69

## Índice de figuras

Figura 1 : Procesos de la biomasa .....	23
Figura 2 : Fases de la digestión anaerobia .....	25
Figura 3 : Cámara de digestión con cúpula fija .....	34
Figura 4 : Cámara de digestión con cúpula móvil .....	35
Figura 5 : Sistema tipo batch.....	36
Figura 6 : Sustrato a 105°C.....	45
Figura 7 : Sustrato a 550°C.....	46
Figura 8 : Medición de pH .....	47
Figura 9 : Medición de temperatura .....	47
Figura 10 : Prueba de la llama .....	47
Figura 11 : Extracción de las muestras .....	48
Figura 12: Unidades experimentales .....	49
Figura 13 : Recolección de los sustratos .....	49
Figura 14 : Llenado de los reactores .....	49
Figura 15 : Biodigestores cargados .....	50
Figura 16 : Neumático cargado .....	50
Figura 17 : Método de la probeta .....	50

### ***Índice de tablas***

Tabla 1 : Cantidad de estiércol producido .....	29
Tabla 2 : Regímenes de temperatura .....	31
Tabla 3 : Composición química del biogás .....	38
Tabla 4 : Valores prom. de temperatura .....	56
Tabla 5: Valores promedio de Ph.....	58
Tabla 6: Demanda bioquímica de oxígeno.....	61

### ***Índice de gráficos***

Gráfico 1 :Temperatura de biodigestores .....	57
Gráfico 2 : pH - días .....	59
Gráfico 3 : Producción de biogás.....	61

## **Dedicatoria**

El presente trabajo monográfico está dedicado primeramente al creador del universo “Dios”, por darnos las fuerzas para salir adelante en todas las actividades que realizamos a lo largo de nuestra formación académica, una guía indispensable en nuestra vida para enfocarnos en el camino del bien con valores humanos que todo profesional debe desarrollar para tener una vida exitosa.

A nuestras madres y padres, por apoyarnos y darnos la motivación para no rendirnos y salir adelante, comprometidos con el desarrollo de nuestro país que necesita de profesionales en el campo energético y llevar nuestros conocimientos a los diferentes sectores y en especial las zonas más aisladas.

## Agradecimientos

A las autoridades académicas de la FAREM-Estelí/UNAN Managua, en especial del Departamento Ciencia Tecnología y Salud, por formar parte de nuestro proceso educativo y brindarnos apoyo en la realización de actividades que contribuyeron al desarrollo y promoción de nuestra carrera.

A los docentes de la Carrera de Ingeniería en Energías Renovables en especial al Director del Departamento M.Sc Juan Alberto Betanco Maradiaga, por sus aportes y conocimientos para la vida, más allá de una formación académica, una educación con valores de honestidad, igualdad y justicia.

A nuestro tutor M.Sc Edwin Antonio Reyes Aguilera por ser un guía y un facilitador en la realización del proceso de investigación científica, compartiendo ideas para el desarrollo de un trabajo de calidad. Además, motivándonos cada día para lograr nuestras metas, expresando palabras de ánimo.

*“Para el logro del triunfo siempre ha sido indispensable pasar por la senda de los sacrificios.” Simón Bolívar*”.

## **Abreviaturas y acrónimos**

**ASOFÉNIX:** Asociación Fénix

**American Psychological Association:** Asociación Americana de psicología.

**BID:** Banco Interamericano de Desarrollo

**SNV:** Servicio Holandés de cooperación al desarrollo

**FAO:** Organización de la Naciones unidas para la agricultura y alimentación

**FOCAEP:** Fondo Centroamericano para el Acceso a la Energía y Reducción de la Pobreza

**FOMIN:** Fondo Multilateral de Inversiones

**FND:** Fondo Nórdico para el Desarrollo

**ICIDCA:** Instituto cubano de los derivados de la caña de azúcar

**UCA:** Universidad Centroamericana

**CIDEA:** Instituto de capacitación, investigación y desarrollo ambiental

**CIER:** Centro de investigación de energías renovables

**OLADE:** Organización latinoamericana de energía

**OMEI:** Organización marítima internacional

**ONGS:** Organización no gubernamentales

## Resumen

El presente trabajo investigativo tuvo como propósito 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. El presente estudio se rige por el enfoque filosófico cuantitativo, según su nivel de profundidad y conocimiento está investigación, es del tipo descriptivo, correlacional. Los instrumentos utilizados fueron: formato de registro de la producción de biogás y recolección de datos, hornos eléctricos, balanzas analíticas, termómetros, pH metros. Los resultados obtenidos mediante el uso de Infostat, permitió demostrar que, el sustrato orgánico de Caballo y Cerdo son mejores en cuanto a sus sólidos volátiles, 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. Las medias de pH, temperaturas obtenidas a través del programa Infostat, nos indica que los biodigestores estaban operando con parámetros correctos; el sustrato que presenta mayor volumen de biogás generado, corresponde al de codigestión (sustratos Caballo-Ganado), en el análisis DBO<sub>5</sub> la gallinaza y el efluente del biodigestor con sustratos de cerdo requieren una gran cantidad de oxígeno para descomponer la materia orgánica contenida en el agua. La investigación se concluye de manera satisfactoria; el biogás generado en la fermentación de los sustratos estudiados puede utilizarse en estufas convencionales, como una forma de energía sustentable que funcionan a base de dicho combustible son una más de las alternativas energéticas sustentables en comunidades rurales.

*Palabras clave:* Biogás, Biodigestores, Anaeróbica, Sustrato orgánico.

# **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

## **1.1. Planteamiento del problema**

El presente trabajo investigativo aborda el proceso de producción de biogás a través de la evaluación de diversos sustratos orgánicos (excrementos de ganado, caballo, cerdo, gallinaza). Como investigadores en el campo de las energías renovables es una prioridad el investigar y aplicar nuevas fuentes alternas de energía para contribuir al desarrollo sostenible del país y también es una temática de interés regional.

En Nicaragua las principales actividades económica son la agricultura y la ganadería, dichas actividades económicas generan gran cantidad de residuos orgánicos que en gran parte no son aprovechados, entre los que se destacan los frutos en mal estado, la cascara de las verduras, residuos de la ganadería entre otros, en algunos casos uso se limita a la producción de abono orgánico para los cultivos agrícolas , estos se debe en algunos casos a la falta de información que promueva la tecnología de biogás o la cultura de no querer utilizar gas producido con residuos .

Actualmente el país está siendo afectado por graves problemas ambientales, Incer (2016) manifiesta que el país está perdiendo su cobertura forestal el cual atribuye como una de las causas principales el despale indiscriminado de los bosques naturales, también recalca que la leña continúa siendo el principal combustible de la mayoría de la población nicaragüense todo atribuido a los bajos ingresos de la población y por ende no puede hacer uso de los combustibles fósiles sin talar los bosques .

Así mismo, expone el caso significativo de la reserva natural de Bosawas que tiene una longitud de 30,000 km<sup>2</sup> y que ha perdido 970.8 km<sup>2</sup> de bosque, estas situaciones y otras a Nivel Nacional se reflejan en los suelos erosionados, la sequía provocados por el cambio climático que hoy en día afecta el planeta tierra.

Otra problemática es el manejo de los residuos orgánicos, ya que hay situaciones donde estos están cerca de los poblados lo cual afecta a la población causando graves enfermedades respiratorias, al no darle el tratamiento adecuado a los residuos de origen animal, esto causa graves problemas ambientales por la descomposición química de estos.

## **PREGUNTAS PROBLEMA**

1. ¿Cuáles son las propiedades básicas que permiten la determinación de la energía que se obtiene en el proceso de conversión?
2. ¿Qué parámetros ambientales y operacionales de funcionamiento se evalúan en el proceso metanogénico de la producción de biogás?
3. ¿Cómo se determina la producción de biogás de los diversos sustratos orgánicos en función del rendimiento de cada una de las muestras que se sometan a dicho proceso?

## 1.2. Antecedentes

La producción de biogás por fermentación anaerobia es una práctica muy antigua, Rodríguez (2013), en el contexto histórico de la producción de biogás relata que desde el 3000 A.c los sumerios practicaban la limpieza anaerobia de residuos por lo que el uso de desechos es un tema antiguo de miles de años. Otro dato importante es que la primera anotación científica sobre el biogás se atribuye a Jam Baptista Van Helmont en la primera mitad del siglo XIX, quién determinó que de la descomposición de la materia orgánica se obtenían gases inflamables que sustentó el estudio de Chirley<sup>1</sup> sobre los incendios de los pantanos de la India donde se concentraba grandes cantidades de biogás.

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<sup>2</sup>, 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. (Asofénix, 2008)

Se han desarrollado otros proyectos de mayor envergadura con cooperación extranjera como el proyecto de biogás ejecutado por el Servicio Holandés de Cooperación al desarrollo (SNV)<sup>3</sup> que en el año 2013 ejecutó **el denominado Programa de Desarrollo del Mercado de Biogás en Nicaragua, con un fondo de 6 millones de dólares, aportados por el Fondo Multilateral de Inversiones (Fomin) del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), y el apoyo del Fondo Nórdico para el Desarrollo (FND); cuyo objetivo fue instalar sistemas de biogás, conocidos como biodigestores, en las fincas de 6,000 pequeños productores agropecuarios de los departamentos de Boaco, Chontales, León,**

---

<sup>1</sup> **Chirley:** Científico de la India que en 1667 realizó diversos estudios del biogás.

<sup>2</sup> **Asofenix:** Es una ONG nicaragüense trabaja con organismos nacionales e internacionales para desarrollar y mejorar la vida en las comunidades rurales con energía renovable.

<sup>3</sup> **SNV:** Organización de carácter social que provee soluciones innovadoras para la inclusión económica y social de millones de habitantes en los países más pobres de África, Asia y Latinoamérica.

**Matagalpa, Nueva Guinea y Río San Juan, donde se cría ganado vacuno. (La Prensa, 2014)**

A nivel de la Facultad Regional Multidisciplinaria FAREM ESTELÍ se han realizado trabajos investigativos destacándose los siguientes:

1. La codigestión anaerobia, como alternativa de los residuos sólidos orgánicos generados en los mercados municipales.

Grado: Licenciatura en Ciencias Ambientales

Año: 2013.

Autores. Br. Porfirio José Pérez Guevara & Br. Yury Lenin Ramón Sarantes

Con esta investigación llegaron a la conclusión de que existe un comportamiento diferencial en la producción de biogás de las mezclas de los materiales digeridos y realizaron pruebas con dos biodigestores. También concluyen que el aprovechar los residuos de los mercados municipales representa un ahorro en la recolección, depósito de residuos, en cuanto a la producción de biogás ellos recomiendan usar un equipo Orsac para tener más exactitud en la composición del biogás.

- 2) Evaluación de la Producción de Biogás de tres sustratos (Estiércol de ganado, Bovino y porcino, y la pulpa de café)

Grado: Enseñanza de las Ciencias Naturales

Año: 2015

Autores. PEM. Francisco Javier Castellón Centeno; Jeisel Anabel Martínez Rugama & Yader Antonio Gutiérrez Martínez.

En esta investigación los resultados que obtuvieron fue que el estiércol Bovino y porcino presenta mayor producción y por ende mayor poder calorífico y que con la pulpa de café no es constante la producción de biogás ya que solo es por temporada del cultivo de café. A la vez manifestaron que es necesario que se continúe

investigando nuevas alternativas de generación de energía. Sin embargo, no se caracterizaron las propiedades de la materia orgánica.

### 3) Producción de biogás a partir de Biomasa.

Centro de investigación de Energías Renovables (CIER)<sup>4</sup>

Autor: Edwin Antonio Reyes Aguilera.

En este estudio se asevera que la que la biomasa (pasto estrella *Cynodon plectostachyus* K. Schum), es un excelente sustrato para la producción de biogás siempre y cuando los parámetros que caracterizan la digestión anaerobia sean los adecuados para dicho proceso, el cual se logra construyendo un biodigestor con las características físicas y técnicas apropiadas. Este tipo de tecnología contribuye a reducir la contaminación del medio ambiente, el despale de los bosques, además de reducir las enfermedades respiratoria por lo que es esencial e importante instalar plantas pilotos para estudios experimentales para la producción de biogás. Los parámetros de funcionamiento evaluado dan la pauta de que se pueden mejorar las condiciones del proceso anaerobio utilizando biomasa por lo que es un tema que se puede seguir investigando e inclusive hacer proyectos piloto en zonas rurales.

Los proyectos y trabajos de curso anteriormente mencionados son referencia de que se puede aprovechar la biomasa para la producción de biogás, así como también mejorar en la metodología de caracterización y evaluación de la materia desarrollando una investigación con un mayor nivel científico ya que los trabajos de tesis en la carrera de Ingeniería en Energías Renovables solo han abarcado la parte descriptiva y por ende un bajo nivel investigativo al no comprobar el fenómeno de estudio con análisis estadísticos como los que se aplican en este trabajo monográfico .

La presente investigación tiene un grado de diferencias respecto a las que se menciona anteriormente ya que se evaluaron las variantes del estudio experimentales, mediante la aplicación de los análisis estadísticos. Se realizó un

---

<sup>4</sup> **CIER:** Centro de Investigación de Energía Renovables de la Facultad Regional Multidisciplinaria de Estelí.

experimento en un Diseño completamente aleatorio (DCA) con cuatro repeticiones, los tratamientos surgen de un arreglo factorial, debido a la dependencia de la variable respuesta (Sólidos volátiles), se utilizaron como covariables: Masa seca y Cenizas. Los supuestos de normalidad y homocedasticidad se probaron usando gráficos de diagnóstico (QQ Plot y diagramas de dispersión de residuos versus predichos respectivamente y diagramas de caja), también se realizó comparaciones múltiples del tipo LSD de Fisher (Diferencia mínima significativa) para evaluar diferencias entre los sustratos. Los análisis se realizaron usando modelos lineales generales y mixtos en R (R core developing team 2016), a través de la interface implementada en Infostat.

La prueba de hipótesis estadística  $H_0$ : La producción de biogás depende directamente de los parámetros ambientales como: Temperatura y pH, se realizó mediante la **correlación de Pearson** para demostrar si existe o no correlación de significancia de la temperatura y pH sobre la variable respuesta **producción de biogás**.

Una vez concluida la investigación los resultados se divulgarán en la revista científica de la universidad a través de un artículo científico donde los alumnos y docentes podrán indagar los aspectos esenciales en la producción de biogás, así mismo de ser posible se podría presentar en congresos nacionales.

### **1.3. Justificación**

Los recursos con que cuentan fundamentalmente las poblaciones tanto rural y urbana son diversos; sin embargo, en gran proporción no son aprovechables; uno de ellos es la biomasa que es aprovechada en un mínimo porcentaje (abono orgánico o combustible); Este puede constituirse en una alternativa de generación de energía para estas poblaciones aprovechando los residuos orgánicos de las diferentes actividades agrícolas y de los residuos orgánicos del hogar.

Con la constante subida de los precios de los combustibles fósiles, unido a la crisis medioambiental que se genera, se vuelve a 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 producción de biogás a partir de diversos sustratos orgánicos como excrementos de animales, desechos cárnicos, cascara de frutas y verduras o descomposición de estas , tiene como como propósito coadyuvar la reducción 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, en granjas pecuarias y resolver problemas como la disposición final de desechos, malos olores, fauna nociva, transmisión de enfermedades y contaminación de mantos freáticos. Además de que se puede obtener biofertilizantes a partir de los lodos residuales.

Con esta investigación se pretende evaluar el potencial energético generado en diferentes sustratos orgánicos y de esta forma puedan implementarse tecnologías para reducir los despales indiscriminados generados por el alto consumo de leña, así mismo permitirá reducir enfermedades y por ende contribuir a la calidad de vida de las personas.

Así como también la presente Metodología de caracterización y evaluación servirá de base para futuros investigadores en esta línea de investigación que es esencial en el campo de las energías renovables.

## **CAPITULO II. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

- 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.

### **2.2. Objetivos específicos**

1. Caracterizar las propiedades básicas de la materia orgánica que permita la determinación de la energía que se puede obtener en el proceso de conversión.
2. Evaluar los parámetros ambientales y operacionales de funcionamiento en el proceso metanogénico de la producción de biogás.
3. Determinar la producción de biogás de los diversos sustratos orgánicos en función del rendimiento de cada una de las muestras que se sometan a dicho proceso.

## **CAPITULO III. MARCO TEÓRICO**

A continuación, se abordan los ejes teóricos que sustentan la presente investigación:

### **3.1. Energía de la biomasa**

La biomasa es una de las fuentes de energía que se encuentran en el medio ambiente en forma de materia prima para su aprovechamiento energético o diversos usos, García (2006, pág. 82), la define como toda aquella fracción biodegradable de los productos, los desechos y los residuos procedentes de la agricultura, de la selvicultura y de las industrias conexas (Incluidas sustancias de origen animal), así como la fracción orgánica de los residuos industriales y municipales.

El término biomasa según la FAO<sup>5</sup> se alude a la energía solar, convertida en materia orgánica por la vegetación, que se puede recuperar por combustión directa o transformando esa materia en otros combustibles. (FAO, 2013)

Una alternativa de aprovechamiento de este tipo de energía radica en la obtención de biogás a través de la descomposición natural de los residuos orgánicos lo cual representa una alternativa de cambio en zonas donde los pobladores carecen de recursos para las actividades de cocina y por lo tanto hacen uso de leña, además de mejorar las condiciones de salud al no inhalar humo con gran cantidad de elementos contaminantes.

#### **3.1.1. Clasificación de la biomasa**

La biomasa tiene una gama de clasificación, la forma más concisa es la que se define por la característica de obtención de humedad, para efectos de este estudio se retoman las propuestas de FOCAEP (2002) y Mathieu (2014) estableciendo un proceso único:

---

<sup>5</sup> **FAO:** Es una Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, cuyo mandato es lograr un mundo que impere la seguridad alimentaria elevando los niveles de nutrición.

### **3.1.2. Biomasa natural**

La biomasa natural es la que se produce en ecosistemas naturales, sin la intervención del hombre para potenciarla o modificarla. Se trata fundamentalmente de residuos forestales como: Leña y ramas, coníferas y otros derivados.

### **3.1.3. Biomasa residual seca**

Son todos los residuos que se obtienen de las diferentes actividades agrícolas y forestales y que en muchos casos se les ha considerado como desperdicio de basura, pero que tienen la característica especial de poderse transformar para la generación de energía eléctrica por medio de su combustión. Se divide en tres subgrupos principales: Biomasa residual agrícola y residuos de industrias agroalimentarias o transformación de la madera.

### **3.1.4. Biomasa residual húmeda**

Se denomina biomasa residual húmeda a los vertidos llamados biodegradables, es decir, las aguas residuales urbanas e industriales y los residuos ganaderos (principalmente purines)

## **3.2. 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, págs. 30,33)

### **3.2.1. Granjas o fincas**

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

### **3.2.2. Residuos de vegetales**

- Beneficio de café
- Cascara de diversos vegetales, etc.
- Residuos de algodón
- Fibras de coco y hojas de árboles

### **3.2.3. Ciudades y poblados**

- Excremento y orín humano
- Residuos sólidos municipales orgánicos

### **3.2.4. Industrias**

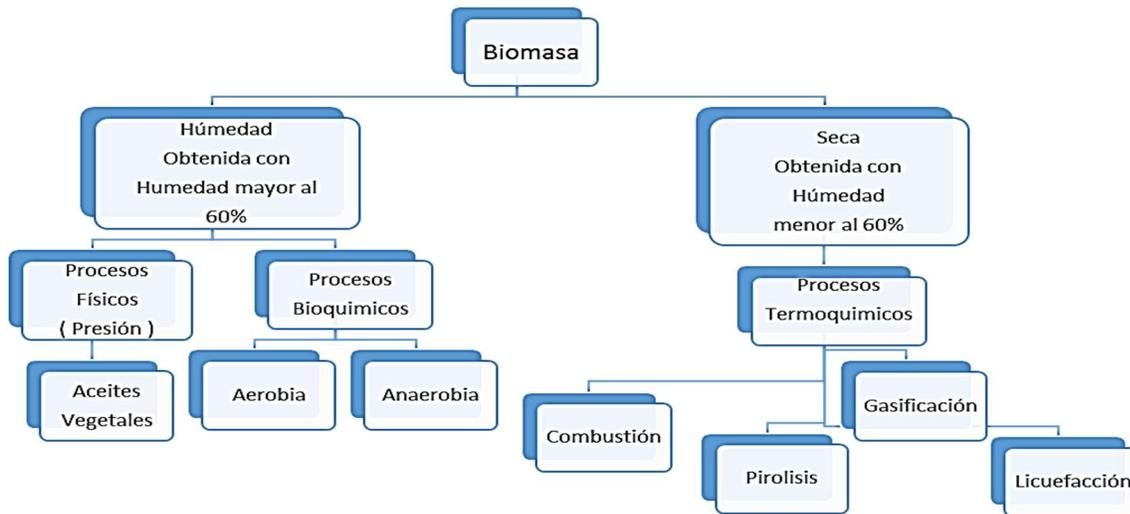
Residuos orgánicos de:

- Industria de bebida
- Piscicultura
- Industria de papel
- Industria alimenticia

### **3.3. Procesos de la biomasa.**

Los residuos tanto de biomasa residual como cultivos energéticos requieren de un proceso de conversión de acuerdo a las características que poseen al momento de obtenerlos. Estos procesos a que se pueden someter se estructuran en la figura N°1 (García Garrido, 2009)

Inicialmente la biomasa para su aprovechamiento energético por medio de la combustión o diversos procesos requiere de un ciclo productivo que toma meses o años, por ejemplo:(Plantación, cultivo, recolección, tratamiento, transporte, distribución conversión).



**Figura 1: Procesos de la biomasa**

### 3.3.1. Digestión anaerobia

La digestión anaeróbica es un proceso biológico complejo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un substrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno o sus precursores (e.g.  $H_2$   $O_2$  ). Utilizando el proceso de digestión anaeróbica es posible convertir gran cantidad de residuos, residuos vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa, de la industria papelera y de algunas industrias químicas, en subproductos útiles. En la digestión anaerobia más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aeróbico. (FAO, 2013)

Otro concepto de la digestión anaerobia es el que aporta el Instituto Cubano de investigación de los derivados de la caña de azúcar (2014) ,establece que la digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que

da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como "biogás" y a una suspensión acuosa o "lodo" que contiene los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica

#### **3.3.1.1. Fases de la fermentación anaerobia**

A la vez FAO (2013) , describe el proceso de digestión anaeróbica como un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas. De hecho, muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea. **Ver figura 2.**

La naturaleza y la composición química del sustrato condicionan la composición cualitativa de la población bacteriana en cada etapa, de manera que se establece un equilibrio fácilmente alterable cuando algún tóxico no permite el desarrollo de alguna de las poblaciones. Mientras que en las fases de hidrólisis -acidogénesis los microorganismos involucrados suelen ser facultativos, para la tercera fase los microorganismos son estrictos, y con tasas máximas de crecimiento del orden de 5 veces menores a las acidogénicas. Esto significa que, si las bacterias metanogénicas tienen algún problema para reproducirse y consumir los ácidos, estos se acumularán, empeorando las condiciones para las bacterias metanogénicas, responsables de la producción de metano.

Realmente no hay una producción de diferentes tipos de bacterias. Unas inicialmente producen hidrólisis del estiércol generando ácidos orgánicos. Otro tipo de bacterias digieren estos ácidos orgánicos. otro tipo de bacterias digieren estos ácidos orgánicos a través de una deshidrogenación y acetogénesis dando como resultado ácido acético e hidrógeno. Finalmente, otras bacterias llamadas metanogénicas, digieren el hidrógeno y el ácido acético para transformarlo en metano, que es el gas más importante del biogás y el que permite la combustión.

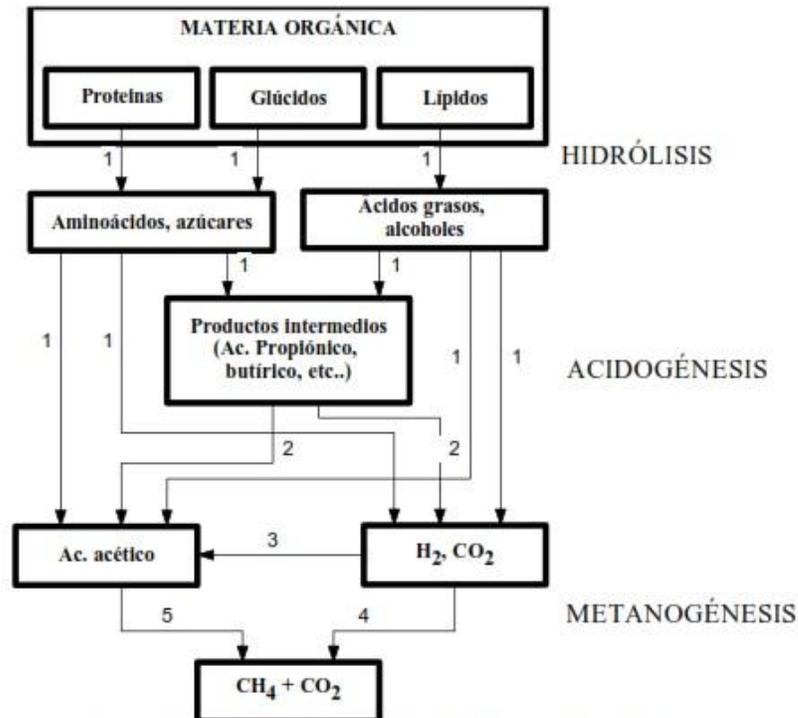


Fig. 1.1. Fases de la fermentación anaerobia y poblaciones bacterianas: 1) Bacterias hidrolíticas-acidogénicas; 2) Bacterias acetogénicas; 3) Bacterias homoacetogénicas; 4) Bacterias metanogénicas hidrogenófilas; 5) Bacterias metanogénicas acetoclasticas.

## Figura 2: Fases de la digestión anaerobia

### 3.3.2. Descripción de las fases del proceso

A continuación, se describe cada una de las fases del proceso de digestión anaerobia en el proceso metanogénico hasta la producción de metano (FAO, 2013)

La primera fase es la hidrólisis de partículas y moléculas complejas (proteínas, carbohidratos y lípidos) que son hidrolizadas por 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, a ácidos grasos de cadena corta, alcoholes, hidrógeno, dióxido de carbono y otros productos intermedios. Los ácidos grasos de cadena corta son transformados en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono, mediante la acción de los microorganismos acetogénicos. Por último, los microorganismos metanogénicos producen metano a partir de ácido acético, H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>.

### **3.3.2.1. Hidrólisis**

La materia orgánica polimérica no puede ser utilizada directamente por los microorganismos a menos que se hidrolicen en compuestos solubles, que puedan atravesar la pared celular. La hidrólisis es el primer paso necesario para la degradación anaeróbica de sustratos orgánicos complejos. El proceso de hidrólisis de estas moléculas complejas es llevado a cabo por la acción enzimática extracelulares producidas por organismo hidrolíticos.

La hidrólisis consiste en la degradación de la materia orgánica cruda. Esta materia orgánica está formada principalmente por polímeros de hidratos de carbono, prótidos y lípidos; y ocurre por la acción de ezoenzimas secretadas por las bacterias.

En esta etapa los microorganismos hidrolizan los orgánicos, proteínas y lípidos en ácidos grasos, monosacáridos, aminoácidos. El grado de hidrolisis y la velocidad del proceso dependen de muchos factores, entre otros del pH, de la temperatura, del tipo de materia orgánica del tamaño de la partícula.

### **3.3.2.2. Acidogénesis**

Durante esta etapa tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (acético, fórmico, H<sub>2</sub>) 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.

### **3.3.2.3. Metanogénesis**

En esta etapa, un amplio grupo de bacterias anaeróbicas estrictas, actúa sobre los productos resultantes de las etapas anteriores. Los microorganismos metanogénicos 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 metanogénicos completan el proceso de digestión anaeróbica mediante la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: acetato,  $H_2 / CO_2$ , formato, metanol y algunas metilaminas.

Los organismos metanogénicos 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 metanogénicos son capaces de utilizar el  $H_2$  como aceptor de electrones, sólo dos géneros pueden utilizar acetato. Los dos géneros que tienen especies acetotróficas son Methanosarcina y Methanotherix. El metano restante proviene de los sustratos ácido carbónico, ácido fórmico y metanol. El más importante es el carbónico, el cual es reducido por el hidrógeno, también producido en la etapa anterior. (FAO, 2013)

### **3.4. Factores que influyen en el proceso metanogénico**

Según Hilbert (2007), es importante examinar algunos de los factores importantes que gobiernan el proceso metanogénico. Los microorganismos, especialmente los metanogénicos, son altamente susceptibles a los cambios en las condiciones ambientales.

La actividad metabólica involucrada en el proceso metanogénico se ve afectada por diversos factores. Debido a que cada grupo de bacterias intervinientes en las distintas etapas del proceso responde en forma diferencial a esos cambios no es posible dar valores cualitativos sobre el grado que afecta cada uno de ellos a la producción de gas en forma precisa. Por lo tanto, nos limitaremos a dar una valoración cualitativa y en algunos casos se darán cifras y cuadros que deben tomarse como orientativos ya que los valores pueden sufrir importantes variaciones.

#### **3.4.1. 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: (Hilbert., 2007)

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).

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.

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. Esto es debido al sinnúmero de factores intervinientes que hacen muy difícil la comparación de resultados por lo tanto los valores brindados en la tabla del Tabla I deben ser tomados como orientativos.

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.

A modo ilustrativo se expone a continuación una Tabla 1 sobre cantidades de estiércol producido por distintos tipos de animales y el rendimiento en gas de los mismos tomando como referencia el kilogramo de sólidos volátiles

<b>ESPECIE</b>	<b>PESO VIVO</b>	<b>Kg estiércol/día</b>	<b>1/kg.S.V.</b>	<b>%CH<sub>4</sub></b>
Cerdos	50	4,5 - 6	340 - 550	65 - 70
Vacunos	400	25 - 40	90 - 310	65
Equinos	450	12 - 16	200 - 300	65
Ovinos	45	2,5	90 - 310	63
Aves	1.5	0,06	310 - 620	60
Caprinos	40	1,5	110 - 290	---

**Tabla 1: Cantidad de estiércol producido por diferente animales**

### **3.4.2. Parámetros de funcionamiento**

La producción de biogás en el proceso metanogénico depende de los siguientes parámetros descritos por (Hilbert., 2007) :

#### **3.4.2.1. Temperatura**

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, es considerada uno de los principales parámetros de diseño, debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de digestión anaeróbica.

Las variaciones bruscas de temperatura en el digestor pueden gatillar la desestabilización del proceso. Por ello, para garantizar una temperatura homogénea en el digestor, es imprescindible un sistema adecuado de agitación y un controlador de temperatura

Para que se inicie el proceso se necesita una temperatura mínima de 4° a 5° C y no se debe sobrepasar una máxima de alrededor de 70°C. Se realiza generalmente una diferenciación en tres rangos de temperatura de acuerdo al tipo de bacterias que predominan en cada una de ellas (ver tabla II).

BACTERIA	RANGO DE TEMPERATURAS	SENSIBILIDAD	DESCRIPCIÓN
Psicrófilas	Menos de 20°C	+ - 2 °C/hora	Se considera que la digestión por las bacterias es estable. La producción de gas es menor, debido a que la digestión es lenta.
Mesófilas	Entre 20°C y 40°C	+ - 1 °C/hora	Se considera como ideal. Las bacterias son más estables. Producen sedimentos de alta calidad como fertilizantes.
Termófilas	Más de 40°C	+ - 0,5 °C/hora	Son muy sensibles a cualquier cambio en el digestor. Los sedimentos que producen son de baja calidad como fertilizantes. Digestión es más rápida.

**Tabla 2: Regímenes de temperatura**

Fuente: Valdivia (2000)

### 3.4.2.2. Valor de la acidez (pH)

Una vez estabilizado el proceso fermentativo el pH se mantiene en valores que oscilan entre 6 y 8, valores de pH por debajo de 5 y por encima de 8 se corre el riesgo de inhibir el proceso de fermentación o incluso detenerlo.

Debido a los efectos buffer que producen los compuestos bicarbonato-dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ -  $\text{HCO}_3$ ) y Amonio -Amoníaco ( $\text{NH}_4$ - $\text{NH}_3$ ) el proceso en sí mismo tiene capacidad de regular diferencias en el pH del material de entrada.

Los valores de PH puede ser corregida para mantenerlo dentro del rango adecuado para el proceso de fermentación, cuando el pH es alto se puede sacar frecuentemente una pequeña cantidad de efluente y agregar materia orgánica fresca en la misma cantidad o bien, Cuando el pH es bajo se puede agregar fertilizante, cenizas, agua amoniacal diluida.

### **3.4.3. Composición de la materia orgánica**

Valdivia (2000) propone para la fermentación los microorganismos metanogénicos 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:

#### **3.4.3.1. 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.

#### **3.4.3.2. Sólidos totales (ST)**

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”.

#### **3.4.3.3. 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).

#### **3.4.3.4. 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 .

### **3.5. Biodigestor**

Contreras (2006) define 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:

- Deberá ser hermético con el fin de evitar que el aire, el que interfiere con el proceso y fugaz del biogás producido.
- Deberá estar térmicamente aislados para evitar cambios bruscos de temperatura.
- A un no siendo un recipiente de alta presión el contenedor primario deberá contar con una válvula de seguridad.
- Deberá contar con medios para realizar la carga y descarga del sistema.
- Los biodigestores deberán tener acceso para mantenimiento.
- Se deberá romper con un medio para romper las natas que se formen

#### **3.5.1. Tipos de biodigestores por su forma**

Jarauta (2005) establece cuatro tipos de biodigestores: De cúpula fija, de cúpula móvil, y tipo salchicha. Estos biodigestores tienen la característica principal que son de flujo continuo lo que permite la entrada y salida constante de fluido. A continuación, se describen cada uno de ellos:

##### **3.5.1.1. De cúpula fija**

Son aquellos armados en una sola estructura que por regla general es hecha en materiales rígidos (concreto, bloques o ladrillos). Debido a la alta presión que pueden alcanzar en su interior y a la constante variación de la misma, se recomienda su construcción en forma de domo, bajo tierra en suelos estables y firmes, y la impermeabilización de la parte interna de la estructura a fin de evitar el

escape de líquido y gases. Estos factores hacen obligatorio el uso de mano de obra altamente calificada para su diseño y construcción.

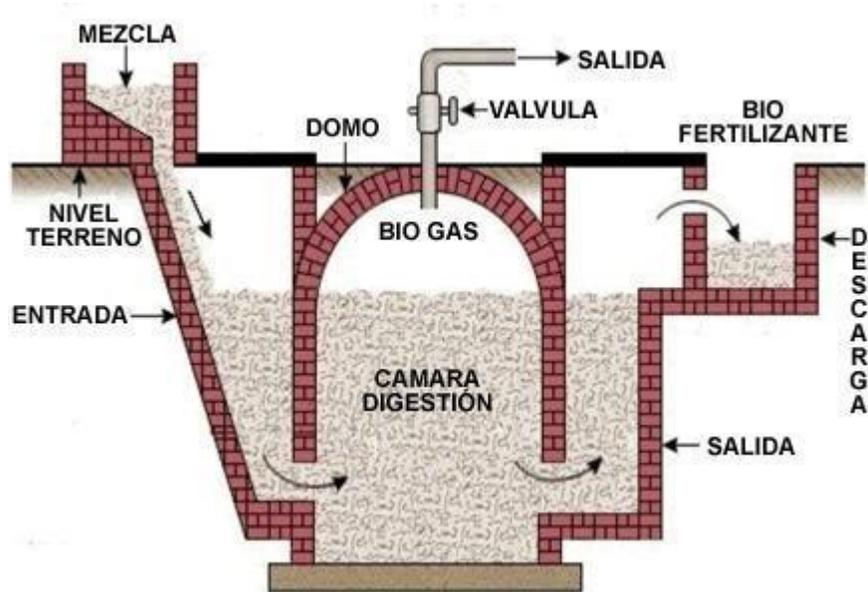


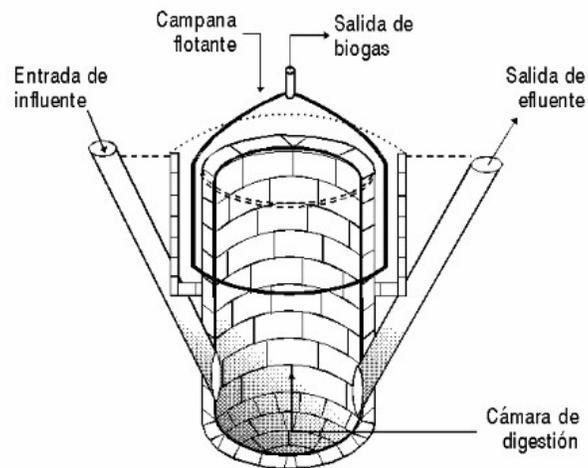
Figura 3: Cámara de digestión con cúpula fija

### 3.5.1.2. Biodigestor de cúpula fija o tipo chino

El modelo de cúpula fija tiene como principal característica que trabaja con presión variable; sus principales desventajas, son que la presión de gas no es constante y que la cúpula debe ser completamente hermética, ello implica cierta complejidad en la construcción y costos adicionales en impermeabilizantes. Sin embargo, este modelo presenta la ventaja de que los materiales de construcción son fáciles de adquirir a nivel local, así como la inexistencia de partes metálicas que pueden oxidarse y una larga vida útil si se le da mantenimiento, además de ser una construcción subterránea.

### 3.5.1.3. De cúpula móvil

Los biodigestores de este grupo tienen dos estructuras: la primera al igual que en los de estructura sólida fija, va enterrada y hecha en concreto, bloque o ladrillo; la segunda en la mayoría de los casos es una campana metálica que “flota” sobre la primera estructura.



**Figura 4: Cámara de digestión con cúpula móvil**

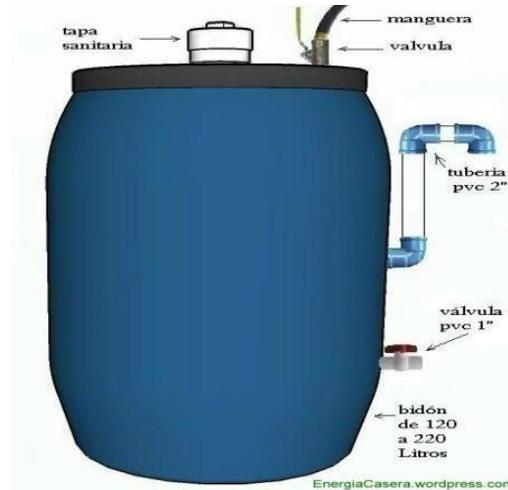
#### **3.5.1.4. Biodigestor de cúpula móvil**

Se caracteriza por tener un depósito de gas móvil a manera de campana flotante, esta campana puede flotar en la masa de fermentación o en un anillo de agua. Las ventajas de este tipo de planta son que trabajan a presión constante y se puede determinar la cantidad de gas almacenado por el nivel de la campana; pero tiene como desventaja que está expuesto a la corrosión ya que las campanas son generalmente metálicas.

Últimamente se ha experimentado con fibra de vidrio y se han obtenido buenos resultados. Además, presenta costos altos de construcción y de mantenimiento, debido al uso periódico de pintura anticorrosiva.

#### **3.5.1.5. Sistemas batch o discontinuo**

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.



**Figura 5: Sistema tipo batch**

### **3.6. Biogás**

#### **Concepto y utilización del biogás**

Según Sandoval (2006) el biogás es una mezcla de gases cuyos principales componentes son el metano y el bióxido de carbono, el cual se produce como resultado de la fermentación de la materia orgánica en ausencia del aire, por la acción de un grupo de microorganismos. Si las condiciones ambientales y operaciones son óptimas a próximamente en un período de 15 días se produce biogás.

La FAO (2013) aporta otro concepto en el que afirma que es un gas producido por bacterias durante el proceso de biodegradación de material orgánico en condiciones anaerobias y está constituido principalmente por gas metano y bióxido de carbono. La generación natural de biogás es una parte importante del ciclo biogeoquímico del carbono. El metano producido por bacterias es el último eslabón en una cadena de microorganismos que degradan material orgánico y devuelven los productos de la descomposición al medio ambiente.

El biogás puede ser utilizado como cualquier otro combustible con poder calorífico, está en directa relación con el porcentaje de metano contenido en la mezcla, pero usualmente varía entre 16500 KJ/Kg y 21000 KJ/Kg. A pequeña y mediana escala, el biogás ha sido utilizado en la mayor parte de los casos para cocinar en combustión directa, sin embargo, también puede ser utilizado para

iluminación, calefacción, como reemplazo de la gasolina o el diésel en motores de combustión interna, operar maquinaria agrícola o bombear agua. (Valdivia, 2000)

El poder calorífico aprovechable depende del rendimiento de los quemadores o de los aparatos. Se debe tener especial cuidado con el ácido sulfhídrico del biogás, ya que ocasiona corrosión prematura en los equipos, por esta razón es necesario colocar una trampa de limadura de hierro en la línea de transporte del biogás. (Valdivia, 2000)

### **3.6.1. Factores ambientales y el biogás**

García Gutiérrez, et al. (2012), argumenta que la generación de biogás, contribuye a enfrentar el cambio climático que hoy en día afecta a la tierra, al contribuir de la siguiente manera: Ayuda a eliminar malos olores generados por materias orgánicas descompuestas al aire libre; al mismo tiempo que elimina focos infecciosos responsables de muchísimas epidemias en la humanidad, siendo una de las más recientes el cólera; por lo que no solo protege el medioambiente, sino que ayuda a mejorar la salud pública (siempre y cuando se controle la composición del biogás, sobre todo ante un elevado valor de H<sub>2</sub>S).

Además, se genera un combustible de características muy buenas, con residuos de combustión poco contaminantes, obteniéndose además excelentes nutrientes para la tierra, apoyando así a la agricultura, principal actividad socioeconómica de nuestro país y por supuesto la reforestación.

El problema observado es la cantidad de CO<sub>2</sub> obtenido en la generación de biogás, pues como se sabe es el principal responsable del efecto invernadero; sin embargo, programas complementarios de reforestación con utilización del bioabono obtenido podrían aminorar el mismo; o también se podría someter al biogás a un proceso de purificación, con una inversión un poco mayor. (García Gutiérrez, y otros, 2012, págs. 891-894)

### 3.6.2. Composición del biogás

Para analizar la propuesta del biogás se retoma la propuesta de Lugones (2001), resaltando que el biogás es más liviano que el aire y está compuesto de diversos gases, los cuales se detallan a continuación.

Gas		Contenido %
Metano	CH <sub>4</sub>	54,00 - 70,00
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	27,00-45,00
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0,50-3,00
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	1,00-10,00
Monóxido de carbono	CO	0,10
Oxígeno	O <sub>2</sub>	0,10
Sulfuro de hidrógeno	H <sub>2</sub> S	0.15-0,50

Tabla 3: Composición química del biogás

Fuente: Lugones (2001)

El sulfuro de hidrógeno o ácido sulfhídrico es un gas incoloro sumamente tóxico. Es combustible y forma con el aire mezclas explosivas. Este gas posee un olor característico a huevos podridos. Este olor se percibe a baja concentración (0,05 hasta 500 ppm).

### 3.6.3. Purificación del biogás

En la práctica la purificación del biogás no es más que la remoción del dióxido de carbono o el sulfuro de hidrógeno o ambos. El dióxido de carbono es eliminado para aumentar el valor del biogás como combustible. El sulfuro de hidrógeno se elimina para disminuir el efecto de corrosión sobre los metales que están en contacto con el biogás. Existen varios procesos de eliminación del H<sub>2</sub>S, pero los que más se ajustan a una planta artesanal por sus costos, son procedimientos “secos”. La desulfuración del biogás se basa en la reacción química de H<sub>2</sub>S con una sustancia apropiada. (Contreras, 2006) pág. 97.

### **3.6.3.1. Procedimiento con cal**

Valdivia (2000) describe el procedimiento de desulfuración de gases con cal viva o apagada, ya sea en forma sólida (trozos) o como solución acuosa, produce gran cantidad de residuos malolientes. Las soluciones acuosas o suspensiones de cal apagada requieren gran cantidad o despliegue de aparatos para su operación.

En presencia de grandes cantidades de  $C_2O$  en el gas, como se da el caso en el biogás, es difícil lograr una eliminación satisfactoria del  $H_2S$ .  $C_2O$  también reacciona con cal viva o apagada y la consume demasiado rápido. Procedimientos utilizando masas ferrosas en forma de tierra natural o de ciertos minerales ferrosos son utilizados frecuentemente para eliminar el  $H_2S$ . En este caso los contenidos de óxidos de hierro, en las masas ferrosas reaccionan con el  $H_2S$  obteniéndose sulfuros y agua.

También define que el principio de estos equipos de desulfuración consiste en un cajón o tonel. En su parte interior se encuentra la masa purificadora ya preparada. Esta es depositada sobre varias planchas perforadas, de manera que las capas purificadoras no sobrepasen un espesor de 20 a 30 cm de lo contrario la masa se comprimiría con suma facilidad, aumentando su resistencia al paso de biogás que entra en el cajón (purificador) por la parte superior, fluye a través de la masa, abandona el purificador por la parte superior ya liberada de  $H_2S$ .

Una vez que la masa está saturada, esta se puede mezclar con el bioabono para que los sulfuros se transformen en sulfatos y sean absorbidos por la tierra y podamos cerrar el ciclo.

## CAPÍTULO IV. HIPÓTESIS DE INVESTIGACION

Ho: La producción de biogás depende directamente de los parámetros ambientales como: temperatura y pH.

### 4.1. Matriz de operacionalización de las variables

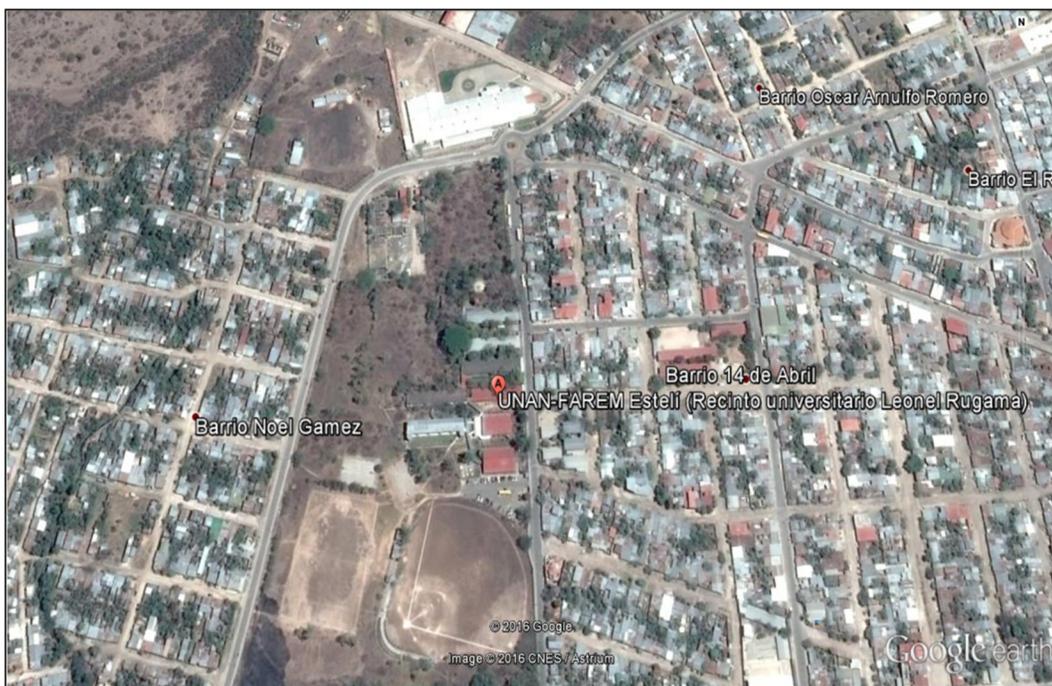
Objetivos Específicos	Variable	Indicador	Instrumento
Caracterizar las propiedades básicas de la materia orgánica que permita la determinación de la energía que se puede obtener en el proceso de conversión.	Humedad. Solidos volátiles. Solidos fijos.	Porcentaje de masa húmeda. Porcentaje de masa seca. Peso de ceniza	Cuaderno de campo: Formato de registro de datos.
Evaluar los parámetros ambientales y operacionales de funcionamiento en el proceso metanogénico de la producción de biogás.	PH. Temperatura. Tiempo de retención.	Acido, básico o Neutro. Temperatura °C Tiempo que inicia a degradarse	Cuaderno de campo. Formato de registro de datos.
Determinar la producción de biogás de los diversos sustratos orgánicos en función del rendimiento de cada una de las muestras que se sometan a dicho proceso.	Producción de biogás.	Lts de biogás producido.	Cuaderno de campo. Formato de registro de datos.

## CAPÍTULO V. DISEÑO METODOLOGICO

En ese sentido es importante conocer las características estadísticas de nuestro estudio que son las siguientes:

### 5.1. Ubicación del área de estudio

El estudio de este proceso investigativo se llevó a cabo en el laboratorio de energías renovables de la Facultad Regional Multidisciplinaria (Farem – Estelí), donde se evaluaron los diferentes substratos orgánicos, donde se instalaron las unidades de análisis experimental.



**Dirección: Barrio 14 de abril, contiguo a la subestación de ENEL, tomado de (Google Earth, 2016)**

### 5.2. Tipo de estudio

El presente estudio se rige por el principio sistémico de métodos y técnicas cuantitativas, de tal manera que el presente estudio se rige por el enfoque filosófico cuantitativo debido que se analizaron datos obtenidos experimentalmente en el proceso de producción de biogás, es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar o eludir” pasos, el orden es riguroso, aunque,

desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea, que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica.

Por la clase de medios utilizados para obtener los datos: **de campo o experimental**, debido a que la información se obtiene de la actividad intencional realizada por el investigador y que se encuentra dirigida a modificar la realidad con el propósito de crear el fenómeno mismo que se indaga, y así poder observarlo. Se desarrolló de manera práctica, activa y dinámica. Se caracterizó por la búsqueda de la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren.

Según su nivel de profundidad y conocimiento está investigación, es del tipo **descriptivo**: nos permite analizar cómo es y cómo se manifiesta un fenómeno y sus componentes, identifica características del universo de investigación, establece comportamientos concretos y descubre y comprueba la asociación entre variables de investigación; **correlacional**: El investigador pretende visualizar cómo se relacionan o vinculan diversos fenómenos entre sí, o si por el contrario no existe relación entre ellos. Lo principal de estos estudios es saber cómo se puede comportar una variable conociendo el comportamiento de otra variable relacionada (evalúan el grado de relación entre dos variables).

#### **5.4. El universo y ámbito**

Los diferentes tipos de sustratos orgánicos provenientes de las actividades humanas y por ende aprovechables para la conversión de energía.

#### **5.5. El tipo de muestreo**

Muestreo probabilístico debido a que todas las muestras de los diferentes tipos de sustratos orgánicos tienen la probabilidad de ser analizados.

#### **5.6. El tamaño de la muestra**

(100 gramos) cantidad de sustrato orgánico para su balance de masa, basada en el método de determinación de las propiedades básicas de la materia se basa en la norma UNE 77030:1982 anteriormente mencionada y para que el proceso se realice rápidamente.

15 libras de cada sustrato para la relación 2:1, tomando en cuenta que los reactores tienen una capacidad de 25 litros.

## **5.6 Técnicas de Recolección**

La técnica de recolección de datos utilizadas para recoger, validar y analizar la información necesaria para lograr los objetivos de la investigación se fundamenta en:

**La observación:** La observación consiste en el registro sistemático, válido y confiable del comportamiento o conducta manifiesta. Puede utilizarse como instrumento de medición en muy diversas circunstancias (Martínez, 2002).

Esta es del tipo no estructurada a través de diario de campo aplicando formatos específicos para levantamiento de datos y trabajo de fotografía.

## **5.7. Etapas de la investigación**

Para cumplir los objetivos planteados, se ha diseñado un proceso metodológico dividido en tres etapas:

### **Etapas I Investigación documental**

Consiste en la búsqueda de la información vinculada a la temática a investigar considerando diferentes fuentes: bibliografía especializada, artículos científicos, páginas web y estudios realizados por instituciones, organismos no gubernamentales, universidades. Esta fase se realizó en el transcurso de todo el proceso y permitió la estructuración de la idea de investigación, definición de la perspectiva teórica en la cual se sustenta; además el conocimiento y adopción de los métodos científicos necesarios para el buen desarrollo del proceso de investigación.

En la fase de elaboración del documento se hace uso del libro "**Introducción a la Metodología de la Investigación Científica de Piura** (2007)" con el objetivo de realizar una estructura coherente conforme aplicada al método científico. Para la

redacción de la bibliografía se toma como material de apoyo el "Manual de Publicaciones de la American Psychological Association<sup>6</sup> (2010) " el cual aplica las reglas de redacción que se aplican actualmente en estudios de posgrados.

## **Etapa II Diseño de instrumentos**

Dentro de estas técnicas mencionaremos, 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 queremos estudiar. Se llevó un registro y se formalizó la observación encaminada a seleccionar, organizar y relacionar los datos referentes a nuestro estudio referente a 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, gráficos.

## **Etapa III Trabajo de campo**

**OE1. Caracterizar las propiedades básicas de la materia orgánica que permita la determinación de la energía que se puede obtener en el proceso de conversión.**

La caracterización de las propiedades básicas de la materia se basa en la norma UNE 77030:1982, esta nos da las pautas para establecer la relación causa y efecto de los sustratos a evaluar a través de la periodicidad de la realización de los experimentos, y el contar con una normativa de evaluación es esencial en el estudio de un fenómeno, con una serie de pasos por lo que se llega a percibir mayor objetividad en el proceso de investigación, un componente esencial para el investigador. **(Ver anexo N°1. Base de datos, caracterización de las propiedades de la materia).**

---

6

American Psychological Association: Es la principal organización científica y profesional de los psicólogos en los Estados Unidos, con alrededor de 117.500 miembros, entre ellos científicos, educadores, clínicos, consultores y estudiantes.

- **Determinación de sólidos volátiles:**

Primeramente, se pesaron los sustratos orgánicos (cuatro muestras de 100g cada una) que posteriormente se introdujeron a un horno eléctrico en capsulas de porcelana, a una temperatura de 105°C durante un tiempo que oscila entre 18 a 24 horas, se realizaron cuatro repeticiones para poder establecer con un grado de confianza la relación causa y efecto lo que se logra a través de la periodicidad de las mediciones.



**Figura 6. Sustrato a 105°C**

Luego se enfriaron a temperatura ambiente y posteriormente se aplicó 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.

El porcentaje de humedad: se determina mediante la siguiente ecuación N°1.

$$M_b = M_h + M_s \quad \text{ec.1}$$

Donde: Mb es la masa bruta o total, Mh masa húmeda, Ms masa seca. El secado a 105 °C durante 18 h se realiza para asegurar la evaporación del agua contenida en el material. A partir de la ec.1 se determinan los porcentajes contenidos de masa húmeda, que se pierde por evaporación tras el secado, y de masa seca, por medio de:

$$M_{rh}\% = \frac{M_h}{M_b} * 100\% \quad \text{y} \quad M_{rs}\% = \frac{M_s}{M_b} * 100\% \quad \text{ec.2}$$

- **Determinación de las cenizas:**

Para realizar este procedimiento se necesitan temperatura mayor o igual a 550°C en dicho horno donde se rompen 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 separa en dos partes: sólidos volátiles y cenizas. Cabe destacar que durante la gasificación de la materia las cenizas quedan, y los sólidos volátiles se escapan en forma de gas. Una vez finalizada la combustión del material se procederá a medir la masa de la ceniza. La diferencia a la masa seca menos la de cenizas es la masa de sólidos volátiles:



**Figura 7: Sustrato a 550°C**

$$M_{sv} = M_s - M_c \quad ec. 3$$

Una vez encontrado los porcentajes de contenido de la masa se calculan los pesos para los sólidos volátiles y las cenizas en base seca por medio de la siguiente ecuación:

$$M_{rsv} \% = \frac{M_{sv}}{M_s} * 100\% \quad y \quad M_{rc} \% = \frac{M_c}{M_s} * 100\% \quad ec. 4$$

**OE2. Evaluar los parámetros ambientales y operacionales de funcionamiento en el proceso metanogénico de la producción de biogás.**

Una vez cargado los biodigestores con su respectiva mezcla y relaciones se procedió la medición de los parámetros que se menciona a continuación.

- **Grado de Acidez:**

Recolectando líquido de la mezcla a través de la válvula que se situará en la parte inferior del biodigestor portátil, se introduce el instrumento digital PH-metro. Para ver en qué valor está 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 8: Medición de pH**

- **Rango de Temperatura:**

Para la obtención de los datos de este parámetro se dispuso de un termómetro digital insertado directamente en la parte superior del biodigestor para conocer el régimen de operación de los biodigestores, si es Psicrófilas Menos de 20°C, Mesófilas Entre 20°C y 40°C, Termófilas más de 40°C



**Figura 9: Medición de temperatura**

La única manera disponible para analizar el biogás fue quemarlo se hizo la prueba de la llama en una cocina que se encuentra en el área solar, Una vez en combustión debe apreciarse la llama color azul, lo que nos indicará la existencia de metano en el biogás producido debido a que la combustión con exceso de oxígeno es en general completa y si es lo contrario es un gas de mala calidad.



**Figura 10: Prueba de la llama**

La llama de los artefactos es el signo visible de una reacción química donde el gas natural se combina con el oxígeno y produce energía calorífica al iniciarse la combustión desde una fuente de ignición. (Organización Marítima Internacional (OMEI), 2011)

A la vez la OMEI (2011) afirma que si la llama es de color azul (intenso en el centro y más claro en el exterior), indica la combustión correcta del gas. Si es amarilla o naranja, indica la presencia de monóxido de carbono ya que el fluido se quema en forma incorrecta.

En cuanto a los análisis físicos químicos estos se realizaron en el Laboratorio de Capacitación y Desarrollo Ambiental (CIDEA) de la Universidad Centroamericana (UCA), trabaja con un sistema de Gestión de la Calidad basado en la NTON 04 001-01, equivalente a la ISO/IEC 17025 aplicada por los laboratorios de ensayo y calibración con el objetivo de demostrar que son técnicamente competentes y que sus resultados son veraces. La prueba de demanda bioquímica de oxígeno es una prueba que permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores y se realiza en un periodo de 5 días.

Para la recepción de las muestras primeramente se extrajo un litro de agua residual de los cuatro sustratos mencionados anteriormente, con su respectivo envases sellados y colocados en un termo con hielo para mantener la calidez de las misma y entregarla en un período estipulado antes de las 24 horas.



**Figura 11: Extracción de las muestras**

**OE3. Determinar la producción de biogás de los diversos sustratos orgánicos en función del rendimiento de cada una de las muestras que se sometan a dicho proceso.**

Esta etapa consistió en la construcción de la unidad experimental que consta de 5 biodigestores, con capacidad de 20 litros, en cada uno de ellos se perforó la parte frontal y se conectó una válvula de seguridad, además cuenta con una línea de entrada y sus respectivas llaves de abre y cierre tanto para la carga y descarga de los biodigestores.

Para el almacenamiento del metano se colocó un sistema de manguera que va conectado al neumático, cada uno de ellos de manera independiente, cabe destacar que cada una de las líneas cuenta con 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.



**Fig. 12: unidad experimental**

Una vez contruidos los biodigestores, se procedió a la recolección de los sustratos orgánicos estos se encontraron en pequeñas fincas cercanas a la Ciudad de Estelí procedente de las actividades Ganadera, crianza de cerdo y de gallinas, lo que facilitó la obtención de la misma y por ende un sustrato fresco para facilitar la digestión anaerobia.



**Figura 13: Recolección de los sustratos**

Para cargar los reactores de materia orgánica tipo batch se procedió a aplicar las relaciones de (sustrato agua) con valores específicos que se determinaron una vez iniciado la fase experimental. Se aplicó la relación 2:1, es decir por cada 2 kilogramos de sustrato, un litro de agua, los reactores tienen capacidad de 20 litros, se utilizó el 75% para la cámara gaseosa y el 25% (almacenamiento de biogás), cuya relación se describe a continuación:



**Figura14: Llenado de los reactores**

- Muestra 1: Se agregó 15 libras de estiércol de ganado más 7 litros de agua.
- Muestra 2: Se le agregaron 15 libras de estiércol de Vaca más 7 litros de agua
- Muestra 3: Una codigestión de 7 libras de estiércol de caballo más 8 libras de estiércol de vaca más 7 litros de agua.
- Muestra 4: Se agregó 15 libras de gallinaza más 7 litros de agua.
- Muestra 5: Se agregaron 15 libras de estiércol de Cerdo más 7 litros de agua



**Figura 15: Unidad experimental de Biodigestores**

La cantidad de biogás se midió aplicando el método de desplazamiento de agua esta se realizó a los 15 días una vez que los reactores empezaron a producir biogás y los neumáticos se cargaron de gas.



**Figura 16: Neumático cargado**

Para la realización de esta prueba se hizo uso de instrumentos de laboratorio siendo estos bases 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 la probeta se coloca la manguera de salida del gas hasta la parte superior.



**Figura 17: Método de la probeta**

Una vez abiertas las válvulas el gas hace que el nivel del agua en la probeta se desplace hacia abajo, por lo tanto, se mide la cantidad de biogás obtenida en cada uno de los sustratos, recordando que los biodigestores tuvieron un tiempo de retención de 7 días luego de 15 día empezaron a generar biogás y por ende realizamos las respectivas mediciones que se reflejan en el formato de producción de biogás (**Ver anexo N°2. Base de datos, de producción de biogás**).

Este parámetro es esencial para la realización de los tipos de correlaciones teniendo en cuenta la producción de biogás de cada uno de los sustratos que es la temática de prioridad del presente trabajo investigativo.

#### **Etapas IV. Procesamiento de la información**

Una vez que concluido el trabajo de campo en el laboratorio se organizó la información recopilada en las notas de campo, datos experimentales obtenidos a través de las mediciones que se realizan las cuales se detallan anteriormente dentro de la operacionalización de las variables.

Se realizó un experimento en un Diseño completamente aleatorio (DCA) con cuatro repeticiones, los tratamientos surgen de un arreglo factorial, debido a la dependencia de la variable respuesta (Sólidos volátiles), se utilizaron como covariables: Masa seca y Cenizas. Los supuestos de normalidad y homocedasticidad se probaron usando gráficos de diagnóstico (QQ Plot y diagramas de dispersión de residuos versus predichos respectivamente y diagramas de caja), también se realizó comparaciones múltiples del tipo LSD de Fisher (Diferencia mínima significativa) para evaluar diferencias entre los sustratos. Los análisis se realizaron usando modelos lineales generales y mixtos en R (R core developing team 2016), a través de la interface implementada en Infostat.

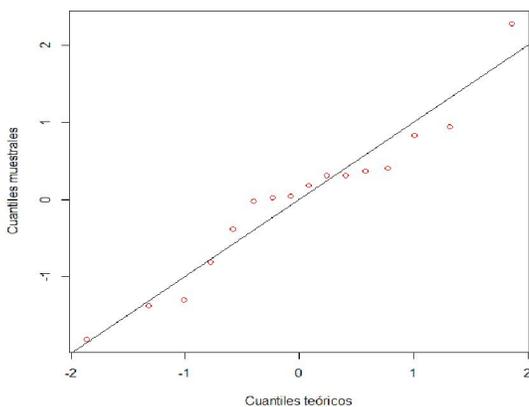
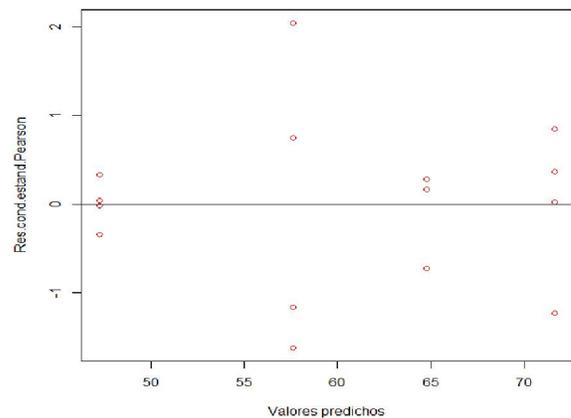
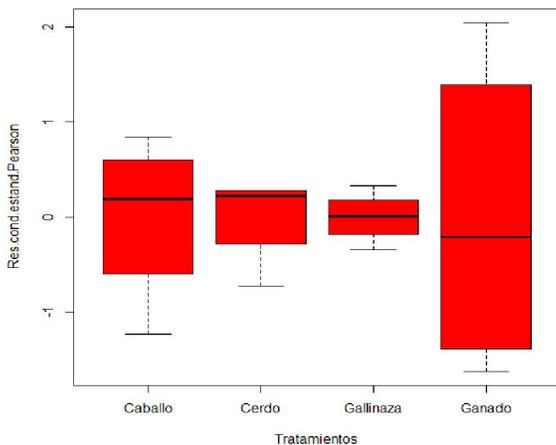
La prueba de hipótesis estadística  $H_0$ : La producción de biogás depende directamente de los parámetros ambientales como: Temperatura y pH, se realizó mediante la **correlación de Pearson** para demostrar si existe o no correlación de significancia de la temperatura y pH sobre la variable respuesta **producción de biogás**.

Una vez concluida la investigación los resultados se divulgarán en la revista científica de la universidad a través de un artículo científico donde los alumnos y docentes podrán indagar los aspectos esenciales en la producción de biogás, así mismo de ser posible se podría presentar en congresos nacionales.

## CAPITULO VI. Resultados

**ROE1: Caracterizar las propiedades básicas de la materia orgánica que permita la determinación de la energía que se puede obtener en el proceso de conversión.**

Se realizó un experimento en un Diseño completamente aleatorio (DCA) con cuatro repeticiones, los tratamientos surgen de un arreglo factorial, debido a la dependencia de la variable respuesta (Sólidos volátiles), se utilizaron como covariables: Masa seca y Cenizas. Los supuestos de normalidad y homocedasticidad se probaron usando gráficos de diagnóstico (QQ Plot y diagramas de dispersión de residuos versus predichos respectivamente y diagramas de caja), también se realizó comparaciones múltiples del tipo LSD de Fisher (Diferencia mínima significativa) para evaluar diferencias entre los sustratos. Los análisis se realizaron usando modelos lineales generales y mixtos en R (R core developing team 2016), a través de la interface implementada en Infostat.



**Gráficos de diagnóstico generado con el programa**

Podemos afirmar categóricamente que se cumple con el supuesto de normalidad de los residuos que examina si el grado de asociación que existe entre los residuos y la función normal, la cual es linealizada mediante la función log. la cual se realiza **mediante el gráfico del QQ**, para la variable respuesta tratamiento.

El grafico de dispersión o de independencia de los residuos de diagnostico nos permite visualizar una tendencia de respuesta o patrón de comportamiento de los datos, para diagnosticar la hipótesis nula de  $H_0$ : Los errores tienen varianzas homogéneas. Para que se demuestre la Homogeneidad de Varianza el resultado debe ser: No debe observarse ningún patrón o tendencia de respuesta de los residuos (Casanoves, 2007). se observa claramente que no hay patrón o tendencia de respuesta de los residuos.

El grafico de caja aporta a simple vista que el sustrato orgánico de gallinaza es el que menos aporta en sólidos volátiles, por ello se hizo necesario el sustento estadístico de que esto es cierto, para lo cual se corrió el modelo siguiente.

## **Modelos lineales generales y mixtos**

### **Especificación del modelo en R**

**Resultados para el modelo: modelo.010\_Solidos.volatiles\_REML**

*Variable dependiente: Sólidos volátiles*

#### **Medidas de ajuste del modelo**

<u>N</u>	<u>AIC</u>	<u>BIC</u>	<u>logLik</u>	<u>Sigma</u>	<u>R2_0</u>
16	89.24	92.15	-38.62	8.90	0.72

*AIC y BIC menores implica mejor*

Al realizar la comparación de modelos observamos que los AIC y BIC (criterios de verosimilitud) nos permite observar que el último modelo (0.10) ajustado es mejor y por lo tanto la interpretación de las pruebas de hipótesis debe basarse en este último.

## Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	<u>numDF</u>	<u>F-value</u>	<u>p-value</u>
(Intercept)	1	1356.29	<0.0001
Tratamientos	3	34.47	<0.0001

## Pruebas de hipótesis secuenciales

	<u>numDF</u>	<u>F-value</u>	<u>p-value</u>
(Intercept)	1	4160.06	<0.0001
Tratamientos	3	34.47	<0.0001

Las pruebas de hipótesis secuenciales dan los mismos resultados que las marginales en este caso porque los datos son balanceados.

## Estructura de varianzas

*Modelo de varianzas: varIdent....Parámetros de la función de varianza*

Parámetro Estim

Caballo 1.00

Cerdo 0.29

## Sólidos volátiles - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamientos

*LSD Fisher (Alfa=0.05)*

<u>Tratamientos</u>	<u>Medias</u>	<u>E.E.</u>	
Caballo	71.65	4.45	A
Cerdo	64.75	1.29	A B
Ganado	57.63	4.45	B
<u>Gallinaza</u>	<u>47.25</u>	<u>1.29</u>	<u>C</u>

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

La prueba LSD Fisher, **con un Alfa = 0.05**, 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.

**ROE2: Evaluar los parámetros ambientales y operacionales de funcionamiento en el proceso metanogénico de la producción de biogás.**

**a) Temperatura**

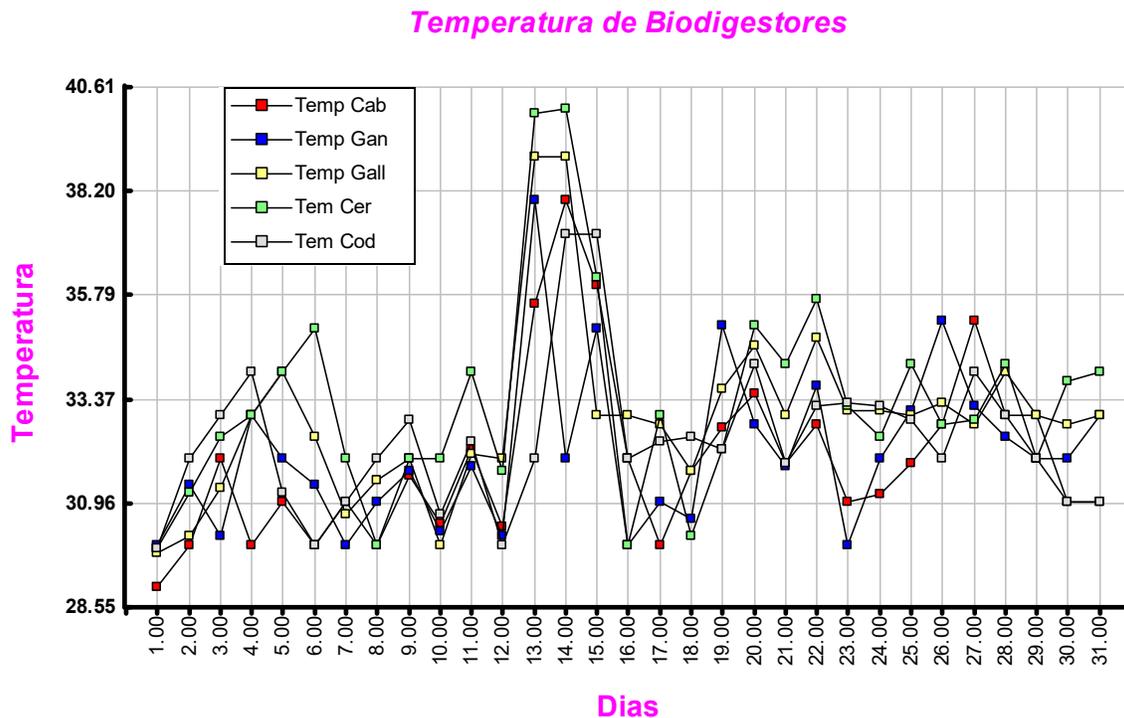
Uno de los factores ambientales más importantes dentro del proceso de digestión anaerobia es la temperatura de operación de los biodigestores, además de ser considerado un parámetro principal para el diseño, debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de la digestión anaerobia. Existen tres rangos de temperatura en los que se puede llevar a cabo la digestión anaerobia, los Psicrófilicos que se encuentran por debajo de los 25°C, los mesofílicos (25 y 45°C) y termofílicos (45 y 65°C). (Martí Ortega, 2002) . La tabla N°4 recoge los valores promedios de este experimento.

<b>Biodigestores</b>	<b>Temperatura °C</b>
<b>Caballo</b>	<b>32</b>
<b>Ganado</b>	<b>32.2</b>
<b>Gallinaza</b>	<b>33</b>
<b>Cerdo</b>	<b>33.4</b>
<b>Codigestión (Caballo-Ganado)</b>	<b>32.5</b>

**Tabla 4: Valores prom. temperatura**

La media de temperatura obtenida a través del programa Infostat, nos indica que los biodigestores estaban operando en régimen mesofílicos (25 y 45°C), no se detectaron variaciones bruscas de temperatura dentro del digester lo cual esto no provocó desestabilización total en el proceso, por tal motivo se considera excelente la temperatura obtenida.

El grafico N°1 muestra las temperaturas obtenidas en los cinco biodigestores de la unidad experimental, se muestra que desde el inicio de la puesta en operación de los biodigestores se mantuvo en el rango normal de operación mesofílico alcanzando mayores temperaturas los días trece y catorce.



**Gráfico 1 Temperatura de biodigestores**

**b) pH y Alcalinidad**

El valor de pH en los digestores no sólo determina la producción de biogás si no también su composición, el descenso del pH por debajo de 6 genera un biogás muy pobre en metano y por consecuencia tiene menores cualidades energéticas.

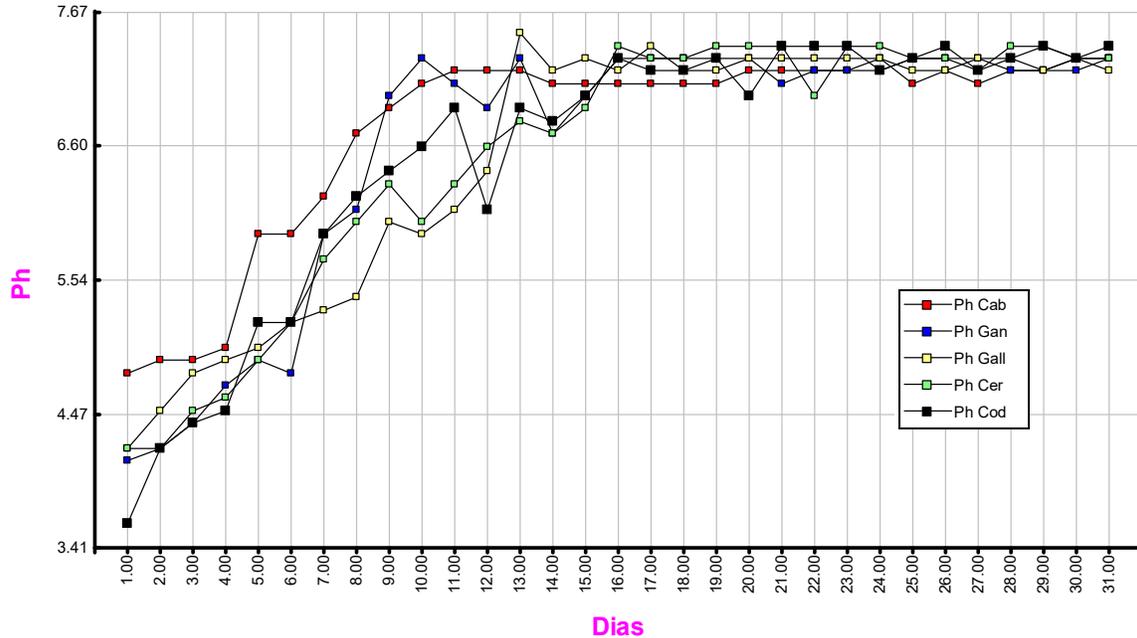
El rango óptimo del pH para lograr una mayor eficiencia en la biodigestión es entre 6 a 8 (McCarty, 2013). La tabla N°5 recoge los valores promedios de este experimento.

Biodigestores	pH
Caballo	6.75
Ganado	6.60
Gallinaza	6.51
Cerdo	6.52
Codigestión (Caballo-Ganado)	6.54

**Tabla 5. Valores promedio de Ph**

La media de pH obtenida a través del programa Infostat, nos indica que los biodigestores estaban operando correctamente. El equilibrio ácido-base que tiene lugar en la operación de los biodigestores anaerobios es muy importante por la presencia de los diversos tipos de microorganismos que están en el medio y que requieren ser neutralizados para restituir el pH.

El grafico N°2 muestra que en los primeros días el pH se mantuvo por debajo del rango normal de operación en nivel ácido, estabilizándose en nivel neutro a partir del día trece manteniéndose en el rango hasta el día en que finalizo la experimentación.



**Gráfico 2 : pH - días**

**c) La demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

Las muestras debidamente rotuladas en frascos de un litro fueron enviadas al laboratorio CIDEA, ubicado en la Universidad Centro Americana (UCA) donde se realizó la prueba que permite conocer la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable existente en la muestra de agua residual de los biodigestores, expresado en miligramos de oxígeno disuelto por cada litro de agua, que se utiliza conforme se consumen los desechos orgánicos por la acción de las bacterias en el agua.

Los resultados obtenidos en la tabla N°6 indican que el DBO elevado, requiere una gran cantidad de oxígeno para descomponer la materia orgánica contenida en el agua, en este caso la gallinaza y el efluente del biodigestor con sustratos de cerdo los cuales no tienen una diferencia significativa, requieren de esta consideración por haber obtenido mayor DBO según los resultados que se presentan completos en el anexo N°3.

Análisis	Método	Sustratos	Resultados	Unidad de medida
DBO <sub>5</sub>	5210B de 5 días	Ganado	695.4	mg/L
		Caballo	661.2	
		Gallinaza	697.5	
		Cerdo	697.3	

**Tabla 6. Demanda bioquímica de oxígeno**

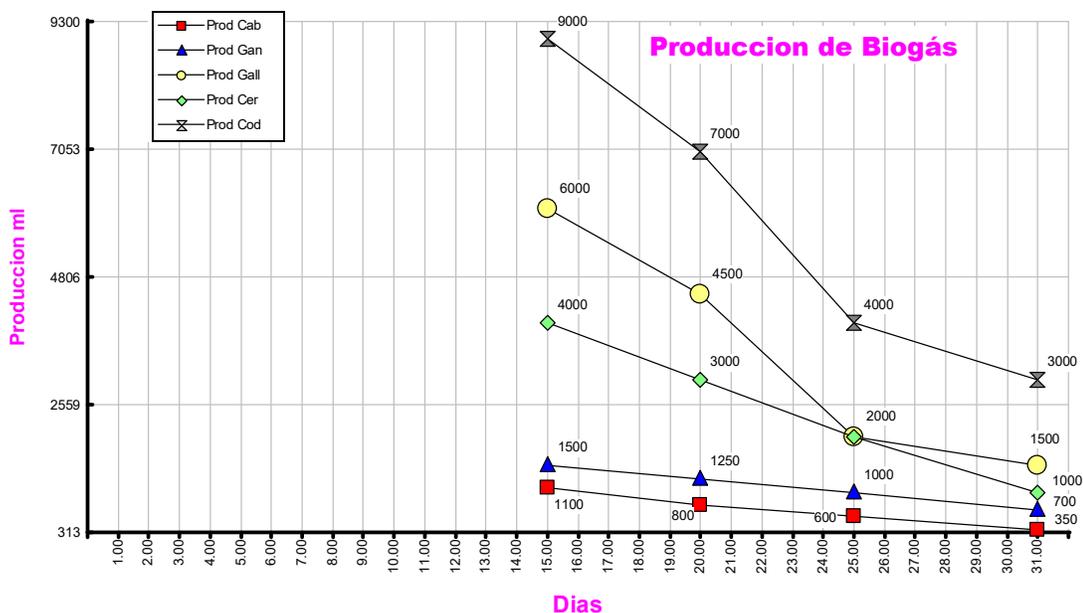
**ROE3: Determinar la producción de biogás de los diversos sustratos orgánicos en función del rendimiento de cada una de las muestras que se sometan a dicho proceso.**

En la gráfica N°3 se aprecia los valores referentes a la producción de biogás conforme a los días de operación de los reactores tipo Batch, donde se observa la máxima cantidad producida en ml de cada sustrato, 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 intervalos de 5 días, obteniendo el volumen total de producido de cada sustrato correspondiente a los días de medición, que conllevaron a obtener la producción total de los mismos, mediante el desplazamiento de agua mencionado en la metodología.

El sustrato que presenta mayor volumen de biogás generado, corresponde al de codigestión (sustratos Caballo-Ganado), con una producción total de 20900 ml, equivalente a 20.9 litros de biogás, seguido sucesivamente por los sustratos Gallinaza: 1400 ml, Cerdo: 8075 ml, Ganado: 4150 ml, Caballo: 2150 ml.

Se observa la disminución gradual de producción a partir del día 15, siendo la gallinaza el sustrato que disminuye considerablemente hasta el punto de converger con el sustrato de cerdo el día 25, el sustrato de ganado no resultó con gran rendimiento en su producción, pero se mantuvo a un nivel casi constante de producción, los dos sustratos con menos producción al combinarse resultaron con el mayor rendimiento productivo tal y como se muestra en el gráfico.



**Gráfico 3: Producción de biogás**

### Prueba de hipótesis estadística

Ho: La producción de biogás depende directamente de los parámetros ambientales como: Temperatura y pH

F:\BDDBiogas2.IDB2

### Coefficientes de correlación

*Correlación de Pearson*

Variable(1)	Variable(2)	n	Pearson	p-valor
Prod Cod	Prod Cod	4	1.00	<0.0001
Prod Cod	Tem Cod	4	0.97	0.0326
Prod Cod	Ph Cod	4	-0.95	0.0459

La realización de esta prueba de correlación de Pearson, dado el resultado obtenido se puede afirmar que se acepta la  $H_0$ : ***La producción de biogás depende directamente de los parámetros ambientales como: Temperatura y pH***, con la obtención de un  $p = 0,0326$  y  $p = 0,0459$ , el cual es menor que el nivel crítico de comparación establecido de  $\alpha = 0,05$ . Claramente se ve que existe un ***efecto significativo***, lo cual demostró que existe una correlación de significancia de la temperatura y pH sobre la variable respuesta ***producción de biogás***.

## **CAPITULO VII. Conclusiones**

La Caracterización de las propiedades básicas de la materia orgánica utilizada en el estudio realizada 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 mesofílico en toda la unidad experimental no se detectaron variaciones bruscas de temperatura dentro de los biodigestores.

La prueba de DBO<sub>5</sub> aplicada a los efluentes de los biodigestores con sustratos de gallinaza y cerdo requieren una gran cantidad de oxígeno para descomponer la materia orgánica contenida en el agua.

La implementación del sistema de cuantificación de la producción de biogás generado en los biodigestores de la unidad experimental mediante el método de desplazamiento de agua resultó eficiente, se demostró que el biodigestor en codigestión anaerobia (mezcla de ganado y caballo) obtuvo mayor rendimiento productivo de la unidad experimental.

La investigación se concluye de manera satisfactoria; el biogás generado en la fermentación de los sustratos estudiados puede utilizarse en estufas

convencionales, como una forma de energía sustentable que funcionan a base de dicho combustible son una más de las alternativas energéticas sustentables en comunidades rurales.

La llama obtenida en la quema del biogás generado por los biodigestores era completamente azul, debido a que a los biodigestores se les instaló un filtro o trampa con agua y cal (solución acuosa), que permitió absorber el  $\text{CO}_2$  y los  $\text{H}_2\text{S}$ , el biogás de cuatro biodigestores respondieron rápidamente a la quema, no así el biodigestor cargado de gallinaza el cual se apaga rápidamente, esto queda demostrado en los datos de volatilidad en el cual este sustrato resultó ser el gas más pobre energéticamente.

## **CAPÍTULO VIII. Recomendaciones**

Las recomendaciones descritas a continuación para futuras investigaciones surgen debido a no haber dispuesto del tiempo suficiente para realizar una investigación que pueda desarrollarse completa.

- Realizar de cuatro a ocho repeticiones en la unidad experimental para obtener valores de mayor significancia.
- Realizar diferentes tipos de mezclas en las relaciones de los sustratos para mejorar rendimientos en cuanto a la producción de biogás aplicando relación 2:1, 3:1, 4:1.
- Instalar manómetros para medir la presión del gas y por tanto cuantificar la cantidad de biogás producido.
- Investigar el aprovechamiento de sustratos pocos estudiados para la generación de biogás.

## CAPÍTULO IX. Cronograma

Etapa	Tarea	Responsables	Meses (2016)										
			3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<b>Etapa I</b>	<b>T2:</b> Elaboración del protocolo de investigación.	Lester Alí Toruño Sotelo.  Dina Masiel Casco.  Edinso Israel Lira Ruiz.											
<b>Etapa II</b>	<b>T3:</b> Ejecución del protocolo (recolección de datos cuantitativos).	Lester Alí Toruño Sotelo.  Dina Masiel Casco.  Edinso Israel Lira Ruiz.											
<b>Etapa III</b>	<b>T4:</b> Elaboración y depuración de la base de datos. Análisis estadístico.	Lester Alí Toruño Sotelo.  Dina Masiel Casco.  Edinso Israel Lira Ruiz.											
<b>Etapa IV</b>	<b>T5:</b> Elaboración del informe final de investigación.	Lester Alí Toruño Sotelo.  Dina Masiel Casco.  Edinso Israel Lira Ruiz.											

## CAPÍTULO X. Bibliografía

- American Psychological Association. (2010). Manual de Publicaciones. Washington Dc: El manual moderno ,S.A. de c.v. Recuperado el 13 de Junio de 2016
- Asofénix. (2008). *Instalación de Biodigestores en Comunidades de Teustepe y San Jose de los Remates*. Managua : Asofenix. Recuperado el Mayo de 2016
- Casanoves, F. (2007). *Curso internacional de técnicas de Análisis Multivariado*. CATIE. Turrialba,, Costa Rica.
- Contreras, L. (2006). *Producción de biogás con fines energéticos . De lo histórico a lo estratégico*.
- FAO. (2013). Producción de biogas por metanogénesis. *Aprovechamiento de residuos sólidos*, 42-47. Recuperado el 5 de Mayo de 2016
- Focae. (2002). Fortalecimiento para la capacidad en energías Renovables. Manuales sobre energía renovable . Biomasa. San Jose, Costa Rica: Bunca CA. San Jose, Costa Rica.
- García Garrido, S. (2009). *Centrales Termoeléctricas de Biomasa*. Madrid: RENOVETEC.
- García Gutiérrez, G. d., Mondaca Fernández, I., Meza Montenegro, M. M., Fuentes, A. F., Balledera Córtez, J. d., & Gortarez Moroyoqui, P. (Julio de 2012). *Ideas@ CONCYTEG*. Obtenido de [http://www.concyteg.gob.mx/ideasConcyteg/Archivos/85\\_1\\_GUTIERREZ\\_GARCIA\\_ET\\_AL.pdf](http://www.concyteg.gob.mx/ideasConcyteg/Archivos/85_1_GUTIERREZ_GARCIA_ET_AL.pdf)
- García, P. S. (2006). *La biomasa y la energía*. México DF .
- Google Earth. (Julio de 2016). *La información geográfica del mundo en tus manos*. Recuperado el 12 de Junio de 2016, de <https://www.google.com/earth/>
- Hilbert., J. A. (2007). *Manual para la producción de biogás* . México DF: Castelar .
- Incer, B. ,. (2016). *Situación de los recursos forestales en Nicaragua* . Managua.
- Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azucar (ICIDCA). (2014). La digestión Anaerobia. pp.35-48.

- Jarauta, L. (2005). *Digestión anaerobia para el tratamiento de residuos orgánicos . El caso de Perú*.  
Barcelona, España: Escuela Técnica de Ingeniería Industrial.
- L, C. (2006). *Producción de Biogás con fines energéticos . De lo histórico a lo estratégico*.
- La Prensa. (4 de Mayo de 2014). *Nicaragua apuesta por el biogás para energía en zonas rurales*.  
Recuperado el 12 de Mayo de 2016, de  
<http://www.laprensa.com.ni/2014/05/04/nacionales/193122-nicaragua-apuesta-por-el-biogas-para-energia-en-zonas-rurales>
- Lugones, B. (2001). *Análisis de biodigestores en funcionamiento* . Habana, Cuba.
- Martí Ortega, N. (2002). *Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process*. (I. 1-581112-332-9, Ed.) Florida, Usa .
- Mathieu, L. (2014). Biomasa Clasificación y uso. En *Aplicaciones de la Biomasa* . Madrid, España.
- O, R. S. (2010). *Biodigestores : Factores químicos , físicos y biológicos relacionados con su productividad* . Alemania .
- Organización Marítima Internacional (OMI). (2011). *Manual sobre la contaminación ocasionada por hidrocarburos*. Madrid: Librería denautica . Recuperado el Octubre de 2016
- Pedroza, M. (2014). Conferencias In curso de Fundamentos de Experimentación . II Módulo.Mediante FAREM Carazo. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua . Managua,, Nicaragua.
- Piura, J. (2007). Introducción a la Metodología de la Investigación Científica. Managua, Nicaragua.
- Raul, V. T. (2000). *Uso de Biogás para la generación de energía eléctrica de motores estacionarios* . Perú .
- Rodriguez, M. (2013). historia del biogás , primeros pasos. *Ciencia y sociedad*, 72-77.
- Sandoval, A. (2006). *Manual de tecnologías limpias en Pymes*. Perú .
- Valdivia, T. R. (2000). *Uso de Biogás para la generación de energía eléctrica mediante un motor gasolinero estacionario modificado*. Lima, Perú.

# CAPÍTULO XI. ANEXOS

## Anexo N°1. caracterización de las propiedades de la materia

Caso	Tratamientos	Observaciones	Masa bruta	Masa Humeda	Masa Seca	Cenizas	Masa Solidos Volatiles	% Solidos volatiles	RDUO_% Solidos volatiles	PRED_% Solidos volatiles
1	Caballo	1	100	73	27	7	20	74.00	2.35	71.65
2	Caballo	2	100	67	33	12	21	63.60	-8.05	71.65
3	Caballo	3	100	68	32	9	23	71.80	0.15	71.65
4	Caballo	4	100	78	22	5	17	77.20	5.55	71.65
5	Ganado	1	100	86	14	4	10	71.00	13.38	57.63
6	Ganado	2	100	84	16	6	10	62.50	4.88	57.63
7	Ganado	3	100	84	16	8		50.00	-7.63	57.63
8	Ganado	4	100	83	17	9	8	47.00	-10.63	57.63
9	Gallinaza	1	100	17	83	45	38	45.00	-2.25	47.25
10	Gallinaza	2	100	18	82	43	39	47.50	0.25	47.25
11	Gallinaza	3	100	19	81	41	40	49.38	2.14	47.25
12	Gallinaza	4	100	13	87	46	41	47.10	-0.15	47.25
13	Cerdo	1	100	73	27	9	18	66.60	1.85	64.75
14	Cerdo	2	100	59	41	14	27	65.80	1.05	64.75
15	Cerdo	3	100	60	40	16	24	60.00	-4.75	64.75
16	Cerdo	4	100	67	33	11	22	66.60	1.85	64.75

Real    Registros: 16\*10    n=1    Suma = 22    Media = 22.0    D.E. = 0    Min = 22    Max = 22    P05 = 22    P95 = 22

## Anexo N°2. Producción de Biogás

InfoStat/L - BDDBiogas2 - [BDDBiogas2]

Archivo Edición Datos Resultados Estadísticas Gráficos Ventanas Aplicaciones Ayuda

Caso	Días	Temp Cab	Ph Cab	Prod Cab	Temp Gan	Ph Gan	Prod Gan	Temp Gall	Ph Gall	Prod Gall	Tem Cer	Ph Cer	Prod Cer	Tem Cod	Ph Cod
1	1.00	29.00	4.80		30.00	4.10		29.80	4.20		29.90	4.20		29.90	3.60
2	2.00	30.00	4.90		31.40	4.20		30.20	4.50		31.20	4.20		32.00	4.20
3	3.00	32.00	4.90		30.20	4.40		31.30	4.80		32.50	4.50		33.00	4.40
4	4.00	30.00	5.00		33.00	4.70		33.00	4.90		33.00	4.60		34.00	4.50
5	5.00	31.00	5.90		32.00	4.90		34.00	5.00		34.00	4.90		31.20	5.20
6	6.00	30.00	5.90		31.40	4.80		32.50	5.20		35.00	5.20		30.00	5.20
7	7.00	31.00	6.20		30.00	5.90		30.70	5.30		32.00	5.70		31.00	5.90
8	8.00	30.00	6.70		31.00	6.10		31.50	5.40		30.00	6.00		32.00	6.20
9	9.00	31.60	6.90		31.70	7.00		32.00	6.00		32.00	6.30		32.90	6.40
10	10.00	30.50	7.10		30.30	7.30		30.00	5.90		32.00	6.00		30.70	6.60
11	11.00	32.20	7.20		31.80	7.10		32.10	6.10		34.00	6.30		32.40	6.90
12	12.00	30.40	7.20		30.20	6.90		32.00	6.40		31.70	6.60		30.00	6.10
13	13.00	35.60	7.20		38.00	7.30		39.00	7.50		40.00	6.80		32.00	6.90
14	14.00	38.00	7.10		32.00	6.70		39.00	7.20		40.10	6.70		37.20	6.80
15	15.00	36.00	7.10	1100	35.00	7.00	1500	33.00	7.30	6000	36.20	6.90	4000	37.20	7.00
16	16.00	32.00	7.10		30.00	7.30		33.00	7.20		30.00	7.40		32.00	7.30
17	17.00	30.00	7.10		31.00	7.30		32.80	7.40		33.00	7.30		32.40	7.20
18	18.00	31.70	7.10		30.60	7.30		31.70	7.20		30.20	7.30		32.50	7.20
19	19.00	32.70	7.10		35.10	7.30		33.60	7.20		32.20	7.40		32.20	7.30
20	20.00	33.50	7.20	800	32.80	7.30	1250	34.60	7.30	4500	35.10	7.40	3000	34.20	7.00
21	21.00	31.90	7.20		31.80	7.10		33.00	7.30		34.20	7.40		31.90	7.40
22	22.00	32.80	7.20		33.70	7.20		34.80	7.30		35.70	7.00		33.20	7.40
23	23.00	31.00	7.20		30.00	7.20		33.10	7.30		33.20	7.40		33.30	7.40
24	24.00	31.16	7.30		32.00	7.20		33.10	7.30		32.50	7.40		33.20	7.20
25	25.00	31.90	7.10	600	33.10	7.30	1000	33.00	7.20	2000	34.20	7.30	2000	32.90	7.30
26	26.00	32.80	7.20		35.20	7.30		33.30	7.20		32.80	7.30		32.00	7.40
27	27.00	35.20	7.10		33.20	7.30		32.80	7.30		32.90	7.20		34.00	7.20
28	28.00	33.00	7.20		32.50	7.20		34.00	7.30		34.20	7.40		33.00	7.30
29	29.00	33.00	7.20		32.00	7.20		33.00	7.20		32.00	7.40		32.00	7.40
30	30.00	31.00	7.30		32.00	7.20		32.80	7.30		33.80	7.30		31.00	7.30
31	31.00	31.00	7.30	350	33.00	7.30	700	33.00	7.20	1500	34.00	7.30	1000	31.00	7.40
Real	Registros: 39*20														

## Anexo N°3 DBO<sub>5</sub>



**LABORATORIO CIDEA**



Universidad Jesuita  
UCA/CIDEA PG-17 FERC

### INFORME DE RESULTADO DE ENSAYOS DE AREA DE FISICO QUIMICA DE AGUA

**ORDEN No:** 16-502  
**CLIENTE:** LESTER ALI TORUÑO SOLTELO  
**DIRECCION:** ESTELI-NICARAGUA  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** AGUAS RESIDUALES DE BIODIGESTORES  
**PROCEDENCIA:** FAREN - ESTELI  
**ROTULACION DE LA MUESTRA:** GANADO  
**CODIGO MUESTRA:** FQ-16-526  
**FECHA DE MUESTREO:** 28/11/2016; 8:00pm  
**FECHA DE RECEPCION DE LA MUESTRA:** 29/11/2016 08:27:00  
**FECHA DE ENSAYO:** 28/11-12/12/2016  
**FECHA DE ENTREGA:** 12/12/2016 14:50:18  
**MUESTRA TOMADA POR:** CLIENTE

ANALISIS	METODO	RESULTADOS / INCERTIDUMBRE	LIMITE DETECCION	UNIDAD DE MEDIDA	NIVELES ACEPTABLES
DBO5	5210 B. PRUEBA DE 5 DIAS	695.4	2.0	mg/L	No esp

**OBSERVACIONES**

**DECLARACION:** ESTE INFORME REPORTA, LOS RESULTADOS DE LA MUESTRA ENVIADA A NUESTRO LABORATORIO PARA SU EVALUACION. ES NUESTRA POLITICA APLICAR LOS METODOS QUE CUMPLAN LOS REQUISITOS DEL CLIENTE Y SEAN APROPIADOS PARA LOS ENSAYOS. EL CLIENTE PUEDE DUPLICAR Y/O PUBLICAR ESTOS RESULTADOS UNICAMENTE EN FORMA TOTAL.

**NOTA:** ESTOS RESULTADOS NO SON VALIDOS SIN LA FIRMA Y SELLO AUTORIZADO POR LA DIRECCION DEL CIDEA-UCA.

*E. Sandoval P.*



**ERICK SANDOVAL PALACIOS**  
**COORDINADOR LABORATORIO CIDEA**

-----ULTIMA LINEA-----

Cc. ARCH



INFORME DE RESULTADO DE ENSAYOS DE AREA DE FISICO QUIMICA DE AGUA

ORDEN No: 16-502  
 CLIENTE: LESTER ALI TORUÑO SOLTELO  
 DIRECCION: ESTELI-NICARAGUA  
 DESCRIPCION DE LA MUESTRA: AGUAS RESIDUALES DE BIODIGESTORES  
 PROCEDENCIA: FAREN - ESTELI  
 ROTULACION DE LA MUESTRA: CABALLO  
 CODIGO MUESTRA: FQ-16-527  
 FECHA DE MUESTREO: 28/11/2016; 8:00pm  
 FECHA DE RECEPCION DE LA MUESTRA: 29/11/2016 08:27:00  
 FECHA DE ENSAYO: 28/11-12/12/2016  
 FECHA DE ENTREGA: 12/12/2016 14:50:21  
 MUESTRA TOMADA POR: CLIENTE

ANALISIS	METODO	RESULTADOS / INCERTIDUMBRE	LIMITE DETECCION	UNIDAD DE MEDIDA	NIVELES ACEPTABLES
DBOS	5210 B. PRUEBA DE 5 DIAS	661.2	2.0	mg/L	No esp

OBSERVACIONES

**DECLARACION:** ESTE INFORME REPORTA, LOS RESULTADOS DE LA MUESTRA ENVIADA A NUESTRO LABORATORIO PARA SU EVALUACION. ES NUESTRA POLITICA APLICAR LOS METODOS QUE CUMPLAN LOS REQUISITOS DEL CLIENTE Y SEAN APROPIADOS PARA LOS ENSAYOS. EL CLIENTE PUEDE DUPLICAR Y/O PUBLICAR ESTOS RESULTADOS UNICAMENTE EN FORMA TOTAL.  
**NOTA:** ESTOS RESULTADOS NO SON VALIDOS SIN LA FIRMA Y SELLO AUTORIZADO POR LA DIRECCION DEL CIDEA-UCA.



ERICK SANDOVAL PALACIOS  
 COORDINADOR LABORATORIO CIDEA

-----ULTIMA LINEA-----

Cc. ARCH



LABORATORIO CIDEA



Universidad Jesuita  
UCA/CIDEA PG-17 FERC

INFORME DE RESULTADO DE ENSAYOS DE AREA DE FISICO QUIMICA DE AGUA

ORDEN No: 16-502  
 CLIENTE: LESTER ALI TORUÑO SOLTELO  
 DIRECCION: ESTELI-NICARAGUA  
 DESCRIPCION DE LA MUESTRA: AGUAS RESIDUALES DE BIODIGESTORES  
 PROCEDENCIA: FAREN - ESTELI  
 ROTULACION DE LA MUESTRA: GALLINAZA  
 CODIGO MUESTRA: FQ-16-528  
 FECHA DE MUESTREO: 28/11/2016; 8:00pm  
 FECHA DE RECEPCION DE LA MUESTRA: 29/11/2016 08:27:00  
 FECHA DE ENSAYO: 28/11-12/12/2016  
 FECHA DE ENTREGA: 12/12/2016 14:50:24  
 MUESTRA TOMADA POR: CLIENTE

ANALISIS	METODO	RESULTADOS / INCERTIDUMBRE	LIMITE DETECCION	UNIDAD DE MEDIDA	NIVELES ACEPTABLES
DBOS	5210 B. PRUEBA DE 5 DIAS	697.5	2.0	mg/L	No esp

OBSERVACIONES

**DECLARACION:** ESTE INFORME REPORTA, LOS RESULTADOS DE LA MUESTRA ENVIADA A NUESTRO LABORATORIO PARA SU EVALUACION. ES NUESTRA POLITICA APLICAR LOS METODOS QUE CUMPLAN LOS REQUISITOS DEL CLIENTE Y SEAN APROPIADOS PARA LOS ENSAYOS. EL CLIENTE PUEDE DUPLICAR Y/O PUBLICAR ESTOS RESULTADOS UNICAMENTE EN FORMA TOTAL.

**NOTA:** ESTOS RESULTADOS NO SON VALIDOS SIN LA FIRMA Y SELLO AUTORIZADO POR LA DIRECCION DEL CIDEA-UCA.



ERICK SANDOVAL PALACIOS  
 COORDINADOR LABORATORIO CIDEA

Cc. ARCH

-----ULTIMA LINEA-----



LABORATORIO CIDEA



Universidad Jesuita  
UCA/CIDEA PG-17 FERC

INFORME DE RESULTADO DE ENSAYOS DE AREA DE FISICO QUIMICA DE AGUA

ORDEN No: 16-502  
 CLIENTE: LESTER ALI TORUÑO SOLTELO  
 DIRECCION: ESTELI-NICARAGUA  
 DESCRIPCION DE LA MUESTRA: AGUAS RESIDUALES DE BIODIGESTORES  
 PROCEDENCIA: FAREN - ESTELI  
 ROTULACION DE LA MUESTRA: CERDO  
 CODIGO MUESTRA: FQ-16-529  
 FECHA DE MUESTREO: 28/11/2016; 8:00pm  
 FECHA DE RECEPCION DE LA MUESTRA: 29/11/2016 08:27:00  
 FECHA DE ENSAYO: 28/11-12/12/2016  
 FECHA DE ENTREGA: 12/12/2016 14:50:26  
 MUESTRA TOMADA POR: CLIENTE

ANALISIS	METODO	RESULTADOS / INCERTIDUMBRE	LIMITE DETECCION	UNIDAD DE MEDIDA	NIVELES ACCEPTABLES
DBOS	5210 B. PRUEBA DE 5 DIAS	697.3	mg/L	mg/L	No esp

OBSERVACIONES

**DECLARACION:** ESTE INFORME REPORTA, LOS RESULTADOS DE LA MUESTRA ENVIADA A NUESTRO LABORATORIO PARA SU EVALUACION. ES NUESTRA POLITICA APLICAR LOS METODOS QUE CUMPLAN LOS REQUISITOS DEL CLIENTE Y SEAN APROPIADOS PARA LOS ENSAYOS. EL CLIENTE PUEDE DUPLICAR Y/O PUBLICAR ESTOS RESULTADOS UNICAMENTE EN FORMA TOTAL.  
**NOTA:** ESTOS RESULTADOS NO SON VALIDOS SIN LA FIRMA Y SELLO AUTORIZADO POR LA DIRECCION DEL CIDEA-UCA.



ERICK SANDOVAL PALACIOS  
COORDINADOR LABORATORIO CIDEA

Cc. ARCH

-----ULTIMA LINEA-----





**Anexo N°6. Imágenes de la Etapa de Campo.**



**Pesaje de Sustratos en balanza digital.**



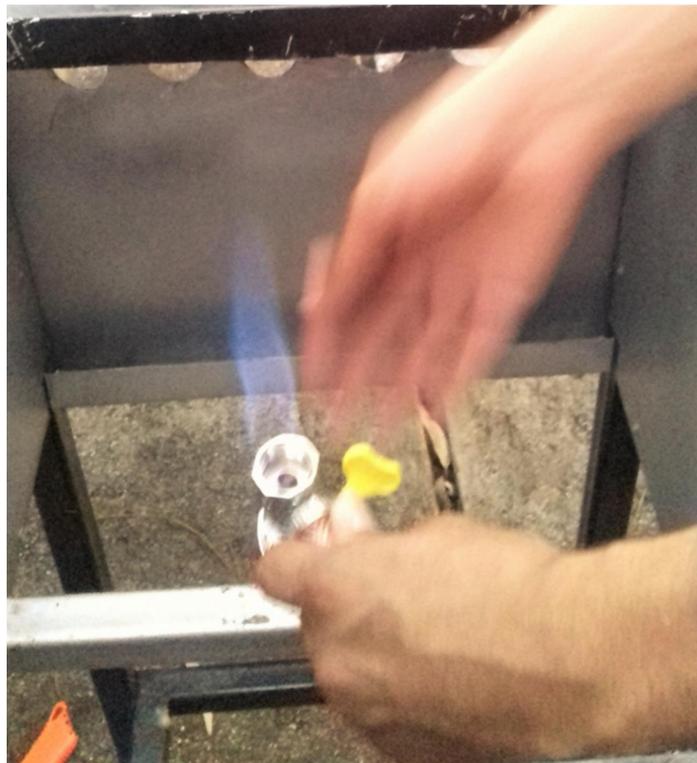
**Sustratos introducidos en el horno y Control de la temperatura con termómetro digital.**



**Pesaje de cenizas.**



**Unidades experimentales.**



**Prueba de combustión del biogás.**

## Glosario de términos.

- **Sustratos orgánicos.** Estos tipos de sustratos son de origen natural y están condicionados por la descomposición biológica. Como toda sustancia orgánica, están compuestos del producto de la descomposición de sustancias de orígenes bióticos, como animales o vegetales.
- **Gas:** Término químico que se refiere a estado de agregación de la materia, el cual carece de forma y volumen, esto se debe a la manera como está compuesto, ya que está integrado por moléculas que no se encuentran unidas, propagadas y con una mínima fuerza de atracción entre ellas, acogiendo la forma y el volumen del envase que lo contiene. Debido a que las moléculas que constituyen el gas no son atraídas unas por otras, estas pueden desplazarse en el vacío en forma separada y muy rápidamente, expresando así sus propiedades.
- **Metano:** un gas incoloro, inflamable, no tóxico, cuya fórmula química es CH<sub>4</sub>. Este gas se produce de forma natural por la descomposición de la materia orgánica. Los humedales, el ganado y la energía son las principales fuentes que emiten metano a la atmósfera, donde actúa como gas de efecto invernadero.
- **Efluente:** Término general que designa todo fluido que discurre hacia fuera desde un entorno considerado.
- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>):** Es un procedimiento experimental, tipo bioensayo, que mide el oxígeno requerido por los organismos en sus procesos metabólicos al consumir la materia orgánica presente en las aguas residuales o naturales.

- **Gasificación:** La gasificación es un proceso termoquímico en el que un sustrato carbonoso (residuo orgánico) es transformado en un gas combustible de bajo poder calorífico, mediante una serie de reacciones que ocurren a una temperatura determinada en presencia de un agente gasificante (aire, oxígeno y/o vapor de agua).
- **Pirolisis:** La pirolisis se puede definir como la descomposición térmica de un material en ausencia de oxígeno o cualquier otro reactante. Esta descomposición se produce a través de una serie compleja de reacciones químicas y de procesos de transferencia de materia y calor. La pirolisis también aparece como paso previo a la gasificación y la combustión.
- **pH:** un método para representar cuán ácida a o básica es una sustancia. La escala parece contradictoria a primera vista, sin embargo, es ampliamente utilizada en la biología, la química, la geología y en otras ciencias físicas.
- **Punto de ignición:** Se denomina punto de ignición de una materia combustible al conjunto de condiciones físicas (presión, temperatura) necesarias para que la sustancia empiece a arder y se mantenga la llama sin necesidad de añadir calor exterior.
- **Tiempo retención hidráulica (TRH):** cociente entre el volumen del digestor y el caudal, o volumen de carga diaria. La unidad en la que se expresa es día". Indica el tiempo que el sustrato permanece por término medio en el digestor