



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA  
UNAN - MANAGUA

**FACULTAD REGIONAL MULTIDISCIPLINARIA DE ESTELÍ**  
**FAREM-ESTELÍ**

INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

**Tesis de Grado para optar al título de Ingeniero en Energías**  
**Renovables**

**TEMA: GENERACIÓN DE BIOGÁS MEDIANTE EL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA A PARTIR DE APROVECHAMIENTO DE SUSTRATOS ORGÁNICOS (PASTO Y ASERRIN), EN LA CIUDAD DE ESTELÍ EN EL AÑO 2017**

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

**Autores:**

- Br. Octavio José Sanabria Vindell.
- Br. Ariel Eduardo Sánchez Melgara.
- Br. Yalmar Salatiel Rodas Espinoza.

Estelí, martes 9 de enero del 2018

# INDICE

<b>CAPITULO I. INTRODUCCION</b> .....	1
<b>CAPITULO II. ANTECEDENTES</b> .....	3
<b>CAPITULO III. JUSTIFICACIÓN</b> .....	7
<b>CAPITULO IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	8
4.1 Caracterización del problema.....	8
4.2 Delimitación del Problema .....	8
4.3 Formulación del Problema.....	8
4.4 Sistematización del Problema .....	9
<b>CAPITULO V. OBJETIVOS</b> .....	10
<b>5.1 Objetivo general</b> .....	10
<b>5.2 Objetivos específicos</b> .....	10
<b>CAPITULO VI. MARCO TEÓRICO</b> .....	11
<b>6.1 Aserrín o residuos de madera</b> .....	11
<b>6.2 Pasto Estrella</b> .....	11
<b>6.3 Digestión anaerobia</b> .....	12
<b>6.5.1 Factores químicos</b> .....	18
<b>6.5.2 Factores físicos</b> .....	19
<b>6.5.3 Separación de sólidos</b> .....	20
<b>CAPITULO VII. HIPOTESIS</b> .....	30
<b>CAPITULO VIII. DISEÑO METODOLOGICO</b> .....	31
<b>8.1 Tipo de estudio</b> .....	31
<b>8.2 Área de estudio</b> .....	31
Ubicación geográfica .....	31
<b>8.2.2 Área de conocimiento</b> .....	32
<b>8.3 Universo y Muestra</b> .....	32
<b>8.5 Métodos, técnicas e instrumentos para la recolección de datos e información.</b> .....	36
<b>8.6 Procedimientos para la recolección de datos e información.</b> .....	37
<b>8.7 Plan de tabulación y análisis de datos e información</b> .....	41
<b>CAPITULO IX. RESULTADOS</b> .....	43
<b>CAPITULO X. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.</b> .....	54

<b>CAPITULO XI. CONCLUSIONES.</b> .....	55
<b>CAPITULO XII. RECOMENDACIONES.</b> .....	57
<b>CAPITULO XIII. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	59

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Regímenes de temperatura.....	20
<b>Tabla 2:</b> Composición del biogás .....	28
<b>Tabla 3:</b> Operacionalización de Variables.....	35
<b>Tabla 4:</b> Valores promedios de temperatura de los biodigestores .....	47
<b>Tabla 5:</b> Medidas promedio de Ph .....	48
<b>Tabla 6:</b> Matriz de Entrevista .....	52
<b>Tabla 7:</b> Cronograma de actividades.....	66
<b>Tabla 8:</b> Presupuesto .....	67

## **INDICE DE GRAFICAS.**

<b>Grafica 1:</b> Diagnósticos generados con el programa .....	43
<b>Grafica 2:</b> Producción de Biogás .....	46
<b>Grafica 3:</b> Temperatura de los biodigestores.....	48
<b>Grafica 4:</b> Medicines de Ph de los biodigestores.....	49

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Fases de la digestión anaerobia .....	13
<i>Figura 2:</i> Cámara de digestión con cúpula fija .....	24
<b>Figura 3:</b> Cámara de digestión con cúpula móvil .....	25
<b>Figura 4:</b> Sistema tipo batch.....	26
<b>Figura 5:</b> Ubicación .....	32
<b>Figura 6:</b> Comunidad entrevistada (Tomado de google earth) .....	33
<b>Figura 7:</b> Muestras en horno a 105°C .....	37
<b>Figura 8:</b> Muestras en horno a 550°C .....	37
<b>Figura 9:</b> Construcción de unidades experimentales .....	39
<b>Figura 10:</b> Medición de producción de gas por método de probeta.....	40
<b>Figura 11:</b> Medición de Ph.....	40
<b>Figura 12:</b> Medición de temperatura.....	41
<b>Figura 13:</b> Muestras de Pasto en horno a 105°C .....	69
<b>Figura 14:</b> Muestras de Aserrin en horno a 105°C .....	69
<b>Figura 15:</b> Muestras de Aserrin en Horno a 550°C .....	69
<b>Figura 16:</b> Cenizas de las muestras.....	69
<b>Figura 17:</b> Unidades Experimentales .....	70
<b>Figura 18:</b> Prueba de probeta para producción de biogas .....	70
<b>Figura 19:</b> Biodigestor de comunidad de Estelí .....	70

## 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 como son en aserrín y el pasto. El presente estudio se rige por el enfoque filosófico mixto, de acuerdo al método de investigación el presente estudio es experimental y según el nivel de profundidad del conocimiento es descriptivo, de acuerdo a la clasificación del tipo de estudio es correlacional. De acuerdo, al tiempo de ocurrencia de los hechos y registro de la información, el estudio es prospectivo, por el período y secuencia del estudio es transversal y según el análisis y alcance de los resultados el estudio es analítico. 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 aserrín es el mejor en cuanto a sus sólidos volátiles. 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 aserrín. 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.

## **CAPITULO I. INTRODUCCION**

El presente trabajo investigativo tiene 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 (aserrín y el pasto). El presente estudio se rige por el enfoque filosófico, por el uso de los instrumentos de recolección de la información, análisis y vinculación de datos, el presente estudio se fundamenta en la integración sistémica de los métodos y técnicas cualitativas y cuantitativas de investigación, por tanto, se realiza mediante un Enfoque Mixto de Investigación.

Los instrumentos utilizados fueron: formato de registro de la producción de biogás y recolección de datos de estudios anteriores, hornos eléctricos, balanzas analíticas, termómetros, pH metros. Los resultados obtenidos mediante el uso de Infostat, permitió demostrar que sustrato orgánico es el mejor en cuanto a sus sólidos volátiles.

La investigación es de mucha importancia ya que 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 (aserrín y pasto) son una más de las alternativas energéticas sustentables en comunidades rurales.

La biomasa es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente. Las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esta energía queda almacenada en forma de materia orgánica. También la biomasa se puede considerar como un grupo de productos energéticos y materia primas de tipo renovable que se originan a partir de materia orgánica formada por vía biológica.

Como fuente alternativa se puede producir diferentes biocombustibles (llamados de segunda generación) a partir de algas a través del uso de nuevas tecnologías donde se integra su producción a la de otros productos de valor comercial dentro de lo que se conoce como biorrefinería.

Un biodigestor es un contenedor hermético que permite la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas y facilita la extracción del gas resultante para su uso como energía. El biodigestor cuenta con una entrada para el material orgánico, un espacio para su descomposición, una salida con válvula de control para el gas (biogás), y una salida para el material ya procesado.

La investigación evalúa los factores de generación de biogás, mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos (aserrín y pasto) en la ciudad de Estelí, esta investigación es importante ya que se benefician todas las comunidades en general. Las preguntas a contestar en esta investigación son ¿cuáles son las características básicas de los sustratos orgánicos?, ¿Cuánto será la producción de biogás de los diversos sustratos orgánicos?, ¿Cómo se podrían establecer la relación entre los parámetros ambientales y operacionales del proceso metanogénico de la generación de biogás generado en un biodigestor tipo Bach? Y por último ¿Cuál ha sido el impacto económico, social, ambiental y de salud del uso de biodigestores en comunidades de Estelí?, dándole respuestas a estas preguntas según se desarrolló la investigación.

## CAPITULO II. ANTECEDENTES

A nivel mundial, el uso del biogás es variante, va desde emplearse como combustible para la cocina, calefacción, electricidad, combustible para los vehículos, hasta utilizarlo como el gas “principal” para ser procesado e introducido en gasoductos de gas natural ( (Rehman, 1997)); ( (EREC, 2009)); Otros usos están relacionados con el empleo de éste para hacer metanol y ayudar a prolongar la conservación de frutas y granos por la inhibición del metabolismo de ciertos insectos, hongos y bacterias (Mae-Wan, 2008).

Las mayores aplicaciones del biogás se han dado en China, India y Europa. China es de los países pioneros en el uso del biogás. Este país perteneciente al continente asiático desarrolló un programa que inició en los años setenta con un resultado de más de 7 millones de digestores, aunque sufrió de varias fallas (Boyle, 2004).

**Estudio realizado en universidad veracruzana facultad de ingeniería mecánica y eléctrica.**

Producción de biogás en sustrato sólido a partir de pulpa de café y aserrín de madera.

Autores: Fabiola Sandoval Salas, Ruth J. Rosa Cruz, Carlos Méndez Carreto, M. Isabel Solano Rentería, Carlos Cuevas Suárez. Subdirección de Investigación. Instituto Tecnológico Superior de Perote. Perote Veracruz 91277.

Año: 2015

Se usó pulpa de café (76% humedad) y viruta de madera Como sustrato. El inóculo fue lodo proveniente de una Laguna anaerobia (Granjas Carroll), el cual fue mantenido En un residual sintético hasta su uso. La experimentación se hizo En biodigestores anaerobios discontinuos de 20 L, a los que se les acoplo Un sistema de desplazamiento de líquido para medir el volumen de biogás producido Diariamente. La determinación de solidos totales (SST), solidos volátiles (SSV) y Solidos fijos (SSF) se realizó de acuerdo a la metodología del standard Methods. De acuerdo con las pruebas preliminares se definió como proporción de 90 % de pulpa y 10 % de viruta. Se usaron dos concentraciones de inoculo (10% y 3%).El experimento Se realizo por duplicado.

Se concluye que a mayor concentración de inoculo se incrementa la producción de biogás del proceso de digestión anaerobia de pulpa de café en sustrato sólido.

La producción de biogás por fermentación anaerobia es una práctica muy antigua, (Rodriguez, 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 (Asofenix, 2008).

### **Algunos estudios realizados en la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN MANAGUA):**

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

---

<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.

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>3</sup>

Autor: Edwin Antonio Reyes Aguilera.

En este estudio se asevera que la que la biomasa (pasto estrella), 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 logró 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.

---

<sup>3</sup> **CIER:** Centro de investigación de Energía Renovable

Se han realizado muchos estudios sobre producción de biogás con sustratos orgánicos de excretas de ganado, caballo, cerdo y otros desechos, mas sin embargo solo se encontró un estudio de producción de biogás con pasto con una evaluación deficiente según su autor, por lo tanto y considerando que en Nicaragua aún no hay antecedente derivados al estudio de biogás con aserrín, intentaremos realizar la evaluación.

### **CAPITULO III. JUSTIFICACIÓN**

La biomasa, aprovechada en un mínimo porcentaje (abono orgánico o combustible); este puede ser una opción de generación de energía para estas poblaciones con el aprovechamiento de los residuos orgánicos de las diferentes actividades que generan biomasa residual seca, que incluye en este grupo los subproductos sólidos no utilizados en las actividades agrícolas, forestales y en los procesos de industrias agroalimentarias y de transformación de madera, y que por tanto, son considerados residuos.

Como fuente alternativa se puede producir diferentes biocombustibles (llamados de segunda generación) a partir de algas a través del uso de nuevas tecnologías donde se integra su producción a la de otros productos de valor comercial dentro de lo que se conoce como biorefinería (Peteiro, Prado, & Garcia-Tasende, 2016).

La generación de biogás a partir de diversos sustratos orgánicos tiene como propósito coadyuvar en la reducción de emisiones de gases que provocan el efecto invernadero del planeta, pero también es una alternativa que permite obtener energía para cubrir las necesidades de combustible en los hogares sobre todo de la zona rural de nuestro país, 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 ha evaluado el potencial energético generado en diferentes sustratos orgánicos (aserrín, pasto) que han sido nulos o poco estudiados, 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.

## **CAPITULO IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### 4.1 Caracterización del problema

En los hogares nicaragüenses un factor muy importante en la sostenibilidad es el costo de la energía requerida para los diferentes procesos que se llevan a cabo, un costo alto por consumo de energía y la quema de gas propano derivado de combustible fósil, así como la deforestación o tala de árboles para la cocción de alimentos en muchas familias nicaragüenses principalmente en la zona rural por lo cual el país está siendo afectado por graves problemas ambientales, siendo la leña 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.

### 4.2 Delimitación del Problema

En Nicaragua el manejo de los residuos orgánicos ha sido históricamente deficiente, ya que hay situaciones donde estos están cerca de los poblados lo cual afecta a la población causando graves enfermedades respiratorias, al no dársele el tratamiento adecuado a los sustratos orgánicos. El estudio se realizó en Estelí por que se tiene el apoyo de la facultad regional multidisciplinaria de Estelí FAREM-ESTELÍ y de un tutor para realizar dicha investigación. Así como el uso de información e instrumentos que se necesitaron para la investigación.

### 4.3 Formulación del Problema

A partir de la caracterización y delimitación del problema antes expuesta, se plantea la siguiente pregunta rectora del presente estudio: ¿Cuáles son los procedimientos para evaluar la generación de biogás, mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos, en la ciudad de Estelí, en el año 2017?

#### 4.4 Sistematización del Problema

Las preguntas de sistematización correspondientes se presentan a continuación:

1. ¿Cuáles son las características básicas de los sustratos orgánicos, que permiten la generación de biogás que se obtiene en el proceso de conversión?
2. ¿Cuánto será 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?
3. ¿Cómo se podrían establecer la relación entre los parámetros ambientales y operacionales del proceso metanogénico de la generación de biogás generado en un biodigestor tipo Bach?
4. ¿Cuál ha sido el impacto económico, social, ambiental y de salud del uso de biodigestores en la comunidad de Potrerillos?

## **CAPITULO V. OBJETIVOS**

### **5.1 Objetivo general**

Evaluar los factores de generación de biogás, mediante el proceso de digestión anaerobia a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos, en la ciudad de Estelí, en el año 2017.

### **5.2 Objetivos específicos**

1. Caracterizar las propiedades básicas de los sustratos orgánicos que permiten la generación de biogás que se obtiene en el proceso de conversión.
2. 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.
3. Correlacionar los parámetros ambientales y operacionales del proceso metanogénico de la generación de biogás generado en un biodigestor tipo Bach.
4. Establecer el impacto económico, social, ambiental y de salud del uso de biodigestores en la comunidad de Potrerillos.

## CAPITULO VI. MARCO TEÓRICO

### 6.1 Aserrín o residuos de madera

Los residuos forestales obtenidos en la producción de la madera pueden ser clasificados en dos tipos: subproductos de las actividades de silvicultura y residuos del procesamiento de la madera, estos últimos por estar concentrados en un lugar determinado, su utilización resulta más factible y menos costosa.

La elaboración de la madera incluye: aserrado, descortezado y despulpe, en estos procesos se producen determinados desechos o subproductos, como aserrín y pedazos de madera de pequeñas dimensiones (astillas, virutas, cotaneras). En la determinación del volumen de estos residuos se utilizan determinados conceptos y coeficientes que estiman la relación entre la cantidad de subproducto y el producto principal cosechado, como son: el coeficiente de residuos y el coeficiente de disponibilidad; ellos varían con las prácticas culturales y las peculiaridades climáticas de cada región.

### 6.2 Pasto Estrella

Estrella - *Cynodon plectostachius* - *Cynodon nlemfluensis*

Pastos y forrajes: Pasto Estrella

El pasto estrella es un gramínea perenne que produce tallos con entrenudos largos y abundantes estolones. Es muy utilizada en la alimentación de equinos.

Gramínea perenne que produce tallos con entrenudos largos y abundantes estolones. Posee inflorescencia digitada o sub digitada. Es un pasto muy utilizada para alimentación de equinos.

Responde muy bien a la fertilización y al riego. Se debe manejar con periodos de descanso de 27 días y puede soportar cargas animales de 4 unidades animales por hectárea.

<b>Nombre común</b>	Pasto Estrella
<b>Nombre científico</b>	<i>Cynodon plectostachius</i> - <i>Cynodon nlemfluensis</i>
<b>Otros nombres</b>	Gigante, zacate estrella, estrella africana.
<b>Consumo</b>	Pastoreo rotativo preferiblemente.

<b>Clima favorable</b>	Cálido, desde los 0 hasta los 1700 m.s.n.m.
<b>Tipo de suelo</b>	Suelos muy fértiles, francos o francoarcillosos y con alto contenido de materia orgánica.
<b>Tipo de siembra</b>	Por material vegetativo, estolones.
<b>Plagas y enfermedades</b>	Atacado por lepidopteros ( <i>Mocis latipes</i> ), gusanos y chinches ( <i>Blisus insularis</i> ).
<b>Toxicidad</b>	Presencia de glucogenos cianogénicos que pueden convertirse en cianuros y producir toxicidad.
<b>Tolera</b>	Aguachinamiento, sequia y sombra.
<b>No tolera</b>	Sequías extremas.
<b>Asociaciones</b>	<i>Arachis pintoi</i> y <i>Desmodium ovalifolium</i>

### 6.3 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, (caña, 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.

### 6.3.1 Fases de la fermentación anaerobia

La digestión anaerobia está caracterizada por la existencia de tres fases diferenciadas en el proceso de degradación del sustrato, interviniendo diversas poblaciones de bacterias (ver Fig. 1).

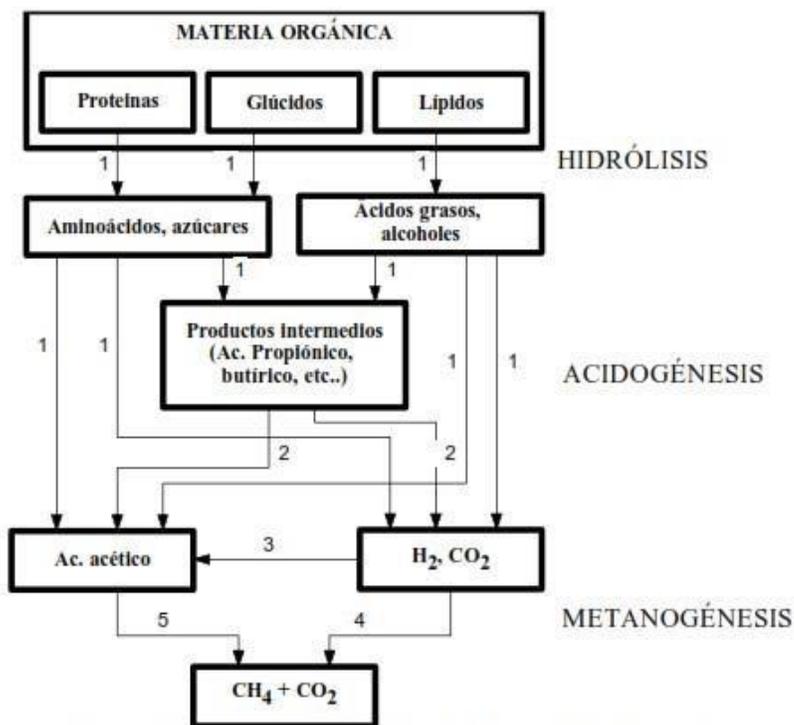


Fig. 1.1. Fases de la fermentación anaerobia y poblaciones bacterianas: 1) Bacterias hidrolíticas-acidogénicas; 2) Bacterias acetogénicas; 3) Bacterias homoacetogénicas; 4) Bacterias metanogénicas hidrogenófilas; 5) Bacterias metanogénicas acetoclasticas.

**Figura 1:** Fases de la digestión anaerobia

Fuente: (X. Flotats, 2001)

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 (X. Flotats, 2001).

Mientras que en las fases de hidrólisis y 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.

### **6.3.2 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

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>.

### **6.3.3 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 exoenzimas 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.

### **6.3.4 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.

### **6.3.5 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 *Methanothrix*. 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.

#### **6.3.5.1 Factores que influyen en el proceso metanogénico**

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. (Hilbert, 2007)

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.

#### **6.4 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.

## **6.5 Parámetros de funcionamiento**

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

### **6.5.1 Factores químicos**

Composición química del sustrato Los sustratos ideales para la digestión anaerobia en biodigestores son los desechos orgánicos húmedos de origen agrícola, industrial, doméstico y municipal, así como las excretas de origen humano y animal. Los residuos de la industria alimentaria y de las actividades agrícolas en particular, son excelentes como sustratos para la digestión anaerobia, ya que no contienen contaminantes, patógenos, ni metales pesados. La presencia de nutrientes como carbono, nitrógeno y azufre, así como algunos elementos traza, es necesaria para el desarrollo de las comunidades microbianas encargadas de la producción de biogás.

La relación carbono-nitrógeno debe estar en una proporción de entre 20 y 30 partes del primer elemento por cada parte del segundo. Si la proporción de nitrógeno aumenta la producción de biogás puede disminuir debido a la formación de amonio, el cual se genera durante la degradación anaeróbica de urea o proteínas. El amonio libre puede ser inhibitorio para la fermentación anaeróbica y tóxico para las bacterias metanogénicas (Winter, 1997), (Rong Cui, 2006).

En este sentido no se recomienda utilizar un solo tipo de sustrato. Lo ideal es por el contrario, combinar materiales ricos en nitrógeno con materiales abundantes en carbono para obtener un buen balance de nutrientes que promueva el adecuado crecimiento de los microorganismos que degradan la materia orgánica dentro del biodigestor y, de esta manera, aumentar la productividad del mismo (Guevara, 1996).

### **6.5.2 Factores físicos**

Temperatura La biodigestión anaerobia puede ocurrir en un amplio rango de temperaturas que van desde los 5°C hasta los 60°C. Las bacterias metanogénicas son más sensibles a la temperatura que los demás microorganismos de un biodigestor, debido a que su velocidad de crecimiento es más lenta. El proceso de digestión anaerobio no se ve afectado si la temperatura aumenta en unos pocos grados; sin embargo, un decrecimiento podría retardar la producción de metano, sin perjudicar la actividad de las bacterias acidificantes, lo cual permite una excesiva acumulación de ácidos y una posible falla en el biodigestor.

En este sentido, se debe procurar mantener un microclima cálido en el biodigestor para conservar una tasa de producción de biogás alta. (Osorio Saraz, Ciro Velásquez, & González Sánchez, 2007) Una estrategia para aumentar la temperatura del biodigestor y, a la vez, mantenerla más constante consiste en la construcción de una estructura liviana forrada con plástico de invernadero, la cual también contribuye a restringir el acceso de animales que puedan dañarlo.

## Regímenes de temperatura

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 1: Regímenes de temperatura*

Fuente: (Valdivia, 2000)

### 6.5.3 Separación de sólidos

Las impurezas como plásticos o arena se deben separar mediante técnicas de flotación y sedimentación. Además, una reducción de tamaño de los desechos sólidos a partículas de 10 a 40 mm es necesaria para lograr una mejor accesibilidad biológica y con mejor flujo de sustrato en el proceso (Weiland, 2007) De acuerdo con Kasapgi y sus colaboradores (2001), el uso de membranas tubulares sin soporte para la ultrafiltración, acopladas al biodigestor como una unidad externa, permite lograr un incremento significativo en la

cantidad de biogás con valor energético. Esta es una medida de bajo costo que se puede implementar fácilmente a la entrada de cualquier biodigestor.

### **6.6 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. (Toruño Sotelo, Casco Dávila, & Lira Ruiz., 2016)

### **6.7 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:

### **6.7.1 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.

### **6.7.2 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”.

### **6.7.3 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).

### **6.7.4 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.

## **6.8 Biodigestor**

Un Biodigestor se define 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: (Contretas, 2006)

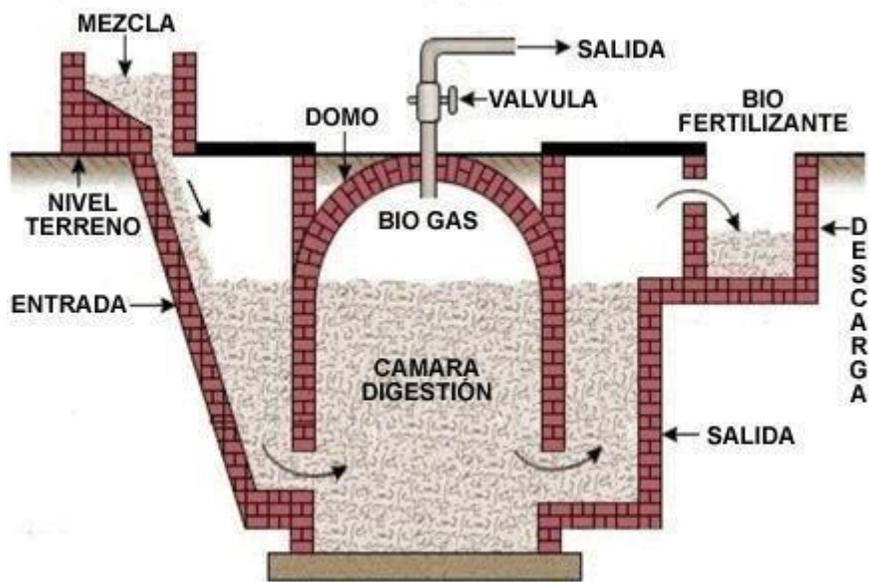
- Deberá ser hermético con el fin de evitar que el aire, el que interfiere con el proceso y fugaz del biogás producido.
- Deberá estar térmicamente aislados para evitar cambios bruscos de temperatura.
- A un no siendo un recipiente de alta presión el contenedor primario deberá contar con una válvula 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.

## **6.9 Tipos de biodigestores por su forma**

Según su forma hay 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: (Jarauta.L, 2005)

### **6.9.1 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.



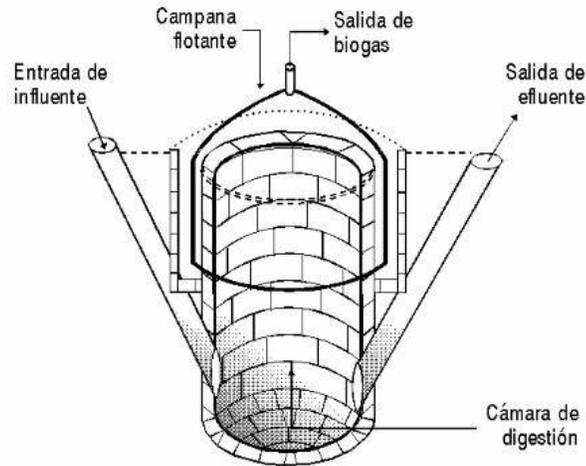
*Figura 2: Cámara de digestión con cúpula fija*

### **6.9.2 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.

### 6.9.3 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 3: Cámara de digestión con cúpula móvil*

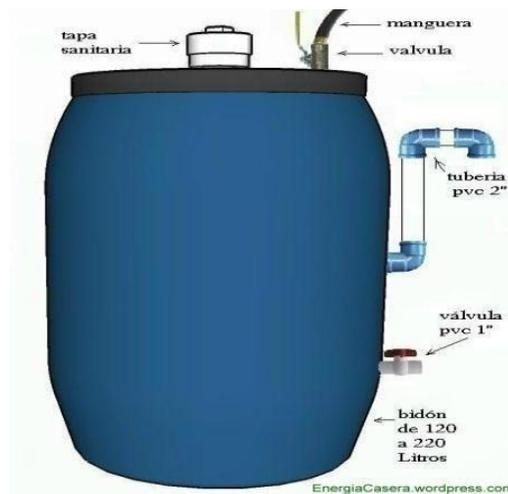
### 6.9.4 Biodigestor de cúpula móvil

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.

### 6.9.5 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 4: Sistema tipo batch*

### 6.10 Concepto y utilización del biogás

Según (Sandavol, 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.

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.

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.

### **6.10.1 Factores ambientales y el biogás**

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 (García Guitierrez, Mondaca Fernandez, Meza Montenegro, Balledera Cortez, & Gortarez Moroyoqui, 2012)

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)

### 6.10.2 Composición del biogás

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

**Composición del biogás**

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

**Tabla 2:** Composición 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).

### **6.10.3 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. (Contretas, 2006) pág. 97.

#### **6.10.3.1 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<sub>2</sub>O en el gas, como se da el caso en el biogás, es difícil lograr una eliminación satisfactoria del H<sub>2</sub>S. C<sub>2</sub>O 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<sub>2</sub>S. En este caso los contenidos de óxidos de hierro, en las masas ferrosas reaccionan con el H<sub>2</sub>S 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<sub>2</sub>S.

## **CAPITULO VII. HIPOTESIS**

En las etapas de digestión anaerobia, la generación de biogás se mejoraría a partir de aprovechamiento de sustratos orgánicos (Aserrín y Pasto), siempre y cuando los parámetros, físicos (Temperatura, Masa seca, Masa Húmeda), químicos (PH) y biológicos (Contaminantes) se encuentre en rangos óptimos, en la ciudad de Estelí en el año 2017.

## **CAPITULO VIII. DISEÑO METODOLOGICO**

### **8.1 Tipo de estudio**

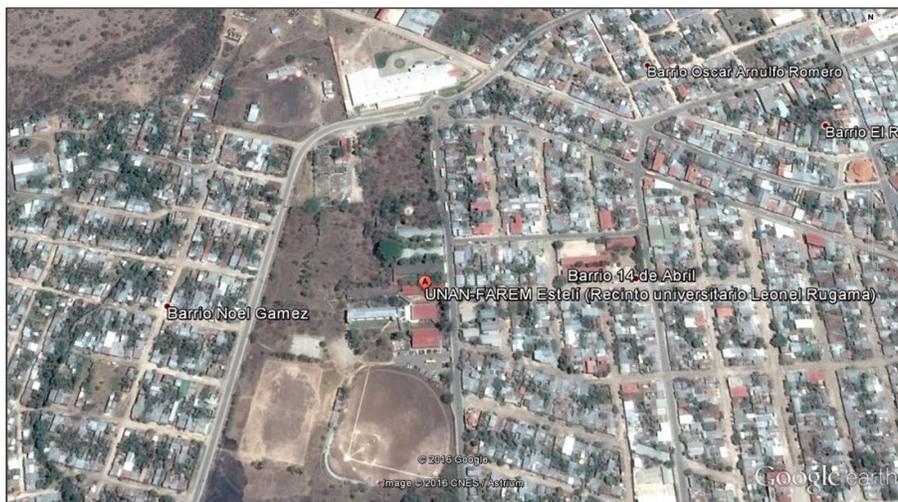
En cuanto al enfoque filosófico, por el uso de los instrumentos de recolección de la información, análisis y vinculación de datos, el presente estudio se fundamenta en la integración sistémica de los métodos y técnicas cualitativas y cuantitativas de investigación, por tanto se realiza mediante un Enfoque Mixto de Investigación (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014, págs. 532-540)

De acuerdo al método de investigación el presente estudio es experimental (Pedroza Pacheco, 1993) y según el nivel de profundidad del conocimiento es descriptivo (Piura López, 2006) De acuerdo a la clasificación de (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014), el tipo de estudio es correlacionar. De acuerdo, al tiempo de ocurrencia de los hechos y registro de la información, el estudio es prospectivo, por el período y secuencia del estudio es transversal y según el análisis y alcance de los resultados el estudio es analítico (Pineda, De Alvarado, & Hernández De Canales, 1994)

### **8.2 Área de estudio**

#### **Ubicación geográfica**

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.



**Figura 5:** *Ubicación*

***Dirección: Barrio 14 de abril, contiguo a la subestación de ENEL, tomado de (Google Earth, 2017)***

### **8.2.2 Área de conocimiento**

El área de estudio a la que pertenece el tema de la presente investigación es el Área: Energías Renovables y responde a la Línea de Investigación 3: Biomasa, dentro de las líneas definidas por el Centro de Investigación en Energías Renovables (CIER).

### **8.3 Universo y Muestra**

El universo de este estudio fueron todos los sustratos orgánicos a estudiar y contaron con seis repeticiones y dos tratamientos, las unidades experimentales (Es el material receptor, al cual se aplican los tratamientos en un solo ensayo) fueron dos biodigestores tipo Bach, las cuales se establecieron en un Diseño Completamente al azar

Para el desarrollo de la presente investigación, por sus características particulares de implementar un método experimental, basado en el Diseño Completamente al Azar (DCA), el universo y muestra se circunscribe al espacio inferencial que le corresponde, definido por las repeticiones (Es la reproducción del experimento básico, que permita separar las variaciones sistemáticas de las variaciones debidas al azar, mediante observaciones repetidas,

que brinde una medición más precisa del efecto de tratamientos), los tratamientos (Es el conjunto de condiciones experimentales que el investigador impone a las unidades experimentales), el conjunto de factores de efectos fijos (Efecto del i-ésimo tratamiento a estimar a partir de los datos del experimento), y aleatorios (Efecto aleatorio de variación), así como las covariables relacionadas al fenómeno objeto de estudio (Pedroza Pacheco, 1993)

El Diseño Experimental se estableció en un DCA. Las características técnicas-experimentales, para el diseño, análisis e interpretación de los datos a obtenerse, se realizarán de acuerdo al método de Fischer, siguiendo los procedimientos estadísticos establecidos en (Pedroza Pacheco, 1993)

La población objeto de estudio estaba definida por todos los individuos que pertenecen a la comunidad de Potrerillo y están usando o han usado biodigestores para la cocción de alimentos. Se tomarán como unidades experimentales la comunidad rural que usen biodigestores.

La entrevista se realizó a 5 familias de la comunidad las cuales están usando o usaron biodigestores, se entrevistó a 1 un representante por familia.



*Figura 6: Comunidad entrevistada (Tomado de google earth)*

### **8.3.1 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.

### ‘8.4 Operacionalización de Variables

**Objetivo General:** Evaluar los factores de generación de biogás, mediante el proceso de digestión anaerobia a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos, en la ciudad de Estelí, en el año 2017.

Objetivos Específicos	Variable Conceptual	Sub variables, o Dimensiones	Variable Operativa Indicador	Técnicas de Recolección de Datos e Información y Actores Participantes					
				<u>Encuesta</u>	<u>Entrevista</u>	<u>G- Focal</u>	<u>Experimento</u>	<u>Laboratorio</u>	<u>Anal. Doctal</u>
<p><b>Objetivo Especifico</b></p> <p>Caracterizar las propiedades básicas de los sustratos orgánicos que permiten la generación de biogás que se obtiene en el proceso de conversión.</p>	<p>las propiedades básicas de los sustratos orgánicos</p>	<p>1. 1 Masa Húmeda</p> <p>1.2 Masa seca</p> <p>1.3. Masa de cenizas</p> <p>1.4.Solidos volátiles</p>	<p>1.1.1Cantidad de agua existente en la materia a utilizar.</p> <p>1.2.1 Peso de la materia seca que queda después del secado.</p> <p>1.3.1 Material biológicamente inerte.</p> <p>1.4. Peso de los sólidos orgánicos quemados cuando el material seco se enciende.</p>					<p><b>X</b></p>	

<p><b>Objetivo Específico 2</b></p> <p>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.</p>	<p>Causa y efecto</p>	<p>Producción de biogás</p>	<p>ml de producción</p>				<p>X</p>	<p>X</p>	
<p><b>Objetivo Específico 3</b></p> <p>Correlacionar los parámetros ambientales y operacionales del proceso metanogénico de la generación de biogás generado en un biodigestor tipo Bach.</p>	<p>Parámetros ambientales y operacionales</p>	<p>PH.</p> <p>Temperatura.</p> <p>Tiempo de retención.</p>	<p>Acido, básico o Neutro.</p> <p>Temperatura °C</p> <p>Tiempo que inicia a degradarse</p>					<p>X</p>	
<p><b>Objetivo Específico 4</b></p> <p>Establecer el impacto económico, social, ambiental y de salud del uso de biodigestores</p>	<p>Impactos por el uso de biodigestores</p>	<p>Impactos: económico, social, ambiental y de salud.</p>			<p>X</p>				

*Tabla 3: Operacionalización de Variables.*

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

### **Cuantitativo:**

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 llevará un registro y se formalizó la observación encaminada a seleccionar, organizar y relacionar los datos referentes a nuestro estudio de la caracterización de los sustratos y a la producción de biogás. Los medios que se utilizaran para registrar la información son: cuaderno de campo, diario, computadora portátil, cuadros de trabajo, gráficos.

Diseño Completamente al Azar DCA: El Diseño Experimental se estableció en un DCA. Las características técnicas-experimentales, para el diseño, análisis e interpretación de los datos a obtenerse, se realizaron de acuerdo al método de Fischer, y Contrastes Ortogonales siguiendo los procedimientos estadísticos establecidos en (Pedroza Pacheco, 1993)

### **Cualitativo:**

Entrevista: Se **intercambio ideas, opiniones mediante una conversación que se dio entre una, dos o más personas** donde el entrevistador es el designado para preguntar. Todos aquellos presentes en la charla dialogan en pos de una cuestión determinada planteada por el profesional. Muchas veces la espontaneidad y el periodismo moderno llevan a que se dialogue libremente generando temas de debate surgidos a medida que la charla fluye.

La entrevista es **recíproca**, donde el entrevistador utiliza una técnica de recolección mediante una **interrogación estructurada** o una **conversación totalmente libre**; en ambos casos se utiliza un formulario o esquema con preguntas o cuestiones para enfocar la charla que sirven como guía. Es por esto, que siempre encontraremos dos roles claros, el del **entrevistador** y el del **entrevistado** (o receptor).

*Técnica:* Entrevista semi-estructurada.

## 8.6 Procedimientos para la recolección de datos e información.

**Para lograr el objetivo específico número 1: Caracterizar las propiedades básicas de los sustratos orgánicos que permiten la generación de biogás que se obtiene en el proceso de conversión.**

La caracterización de las propiedades básicas de la materia orgánica se basó en la norma UNE 77030:1982, 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.

En esta etapa se determinaron los sólidos volátiles, se pesaron los sustratos orgánicos que posteriormente se introdujeron en un horno en capsulas de porcelana, a una temperatura de 105°C durante un intervalo determinado de tiempo.



**Figura 7:** Muestras en horno a 105°C

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



**Figura 8:** Muestras en horno a 550°C

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

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

Dónde:  $M_b$  es la masa bruta o total,  $M_h$  masa húmeda,  $M_s$  masa seca. El secado a 105 °C durante 8 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:

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

El siguiente procedimiento corresponde a la determinación de las cenizas, este procedimiento se realizó dentro de un horno hermético a una temperatura igual o mayor a 500°C donde se romperán los enlaces de la materia orgánica, pasando por un proceso de pirolisis, hasta su gasificación casi total.

Al suceder el proceso de determinación de cenizas, la masa se separa en dos partes: sólidos volátiles y cenizas. Cabe destacar que durante la gasificación la materia que resulta es la ceniza, y los sólidos volátiles se escapan en forma de gas. Una vez finalizada la combustión del material se procedió a medir la masa de la ceniza. La diferencia a la masa seca menos la de cenizas es la masa de sólidos volátiles:

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

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

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

**Para lograr el objetivo específico número 2: 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.**

Se realizó la construcción de la unidad experimental que consta de 2 biodigestores, con capacidad de 20 litros, en cada uno de ellos, se perfora la parte frontal y se conecta una válvula de seguridad, además cuenta con una línea de entrada y sus respectivas llaves de abre y cierre tanto para la carga como para la descarga de los biodigestores.



*Figura 9: Construcción de unidades experimentales*

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 dispondrá de un filtro de purificación de gas para que la llama sea volátil, debido a que si no se realiza este procedimiento la llama es de color amarillo, siendo un gas de menor calidad con una combustión incompleta.



*Figura: Unidades experimentales*

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

La cantidad de biogás se mide aplicando el método de desplazamiento de agua esta se realizó a los 23 días, una vez que los reactores empezaron a producir biogás y los neumáticos se cargaron de gas. Para la realización de esta prueba se utilizaron instrumentos de laboratorio siendo estas 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 introduce la manguera de salida del gas hasta la parte superior.



*Figura 10: Medición de producción de gas por método de 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 registra la cantidad de biogás obtenida en cada uno de los sustratos sumando la cantidad de veces que se realiza la prueba hasta que el gas se agota y así obtenemos la producción de biogás, recordando que los biodigestores tuvieron un tiempo de retención de 23 días luego al día 31 se realizó otra prueba y por ende realizamos las respectivas mediciones que se reflejan en el formato de producción de biogás. (VER ANEXO 4)

**Para lograr el objetivo específico número 3: Correlacionar los parámetros ambientales y operacionales del proceso metanogénico de la generación de biogás generado en un biodigestor tipo Bach.**

Se realizaron las pruebas para obtener los datos para la comparación de estos.

#### **Grado de Acidez:**

Se recolectó líquido de la mezcla a través de la válvula que se sitúa en la parte inferior del biodigestor portátil, se introdujo 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 11: 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 12: Medición de temperatura*

**Para lograr el objetivo específico número 4: Establecer el impacto económico, social, ambiental y de salud del uso de biodigestores en la comunidad sabana grande.**

Se realizaron entrevistas en la comunidad escogida para conocer los factores que nos propusimos a investigar, la entrevista se hizo con la población que utiliza biodigestores este factor dependiendo de la cantidad de la población.

### 8.7 Plan de tabulación y análisis de datos e información

A partir de los datos recolectados, se diseñó la base datos correspondientes, utilizando el software estadístico SPSS, v. 20 para Windows. Una vez que se realiza el control de calidad de los datos registrados, se realizaron los análisis estadísticos pertinentes.

De acuerdo a la naturaleza de cada una de las variables (cuantitativas o cualitativas) y guiados por el compromiso definido en cada uno de los objetivos específicos, se realizaron los análisis descriptivos correspondientes a las variables nominales y/o numéricas, entre ellos: (a) El análisis de frecuencia, (b) las estadísticas descriptivas según cada caso. Además, se realizaron gráficos del tipo: (a) gráfico de cajas y bigotes, que describan en forma clara y sintética, la respuesta de variables numéricas, discretas o continuas.

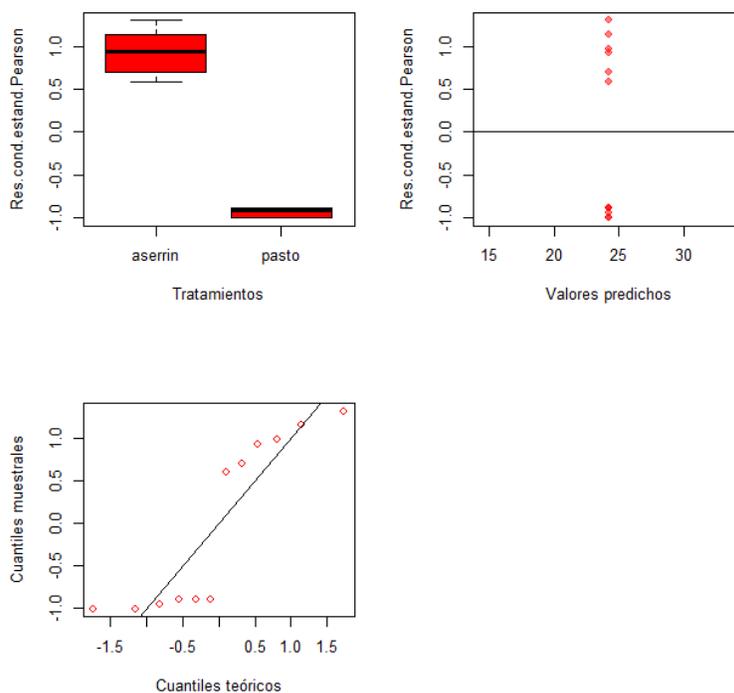
Se realizaron los Análisis de Contingencia pertinentes, (crosstab análisis), para todas aquellas variables no paramétricas, a las que se les podrá aplicar la prueba de Correlación no Paramétrica de Spearman (Rho de Spearman) y Tau C de Kendall, estas pruebas se tratan de una variante del coeficiente de correlación de Pearson, los cuales permiten demostrar la correlación lineal entre variables de categorías, mediante la comparación de la probabilidad aleatoria del suceso, y el nivel de significancia pre-establecido para la prueba entre ambos factores, de manera que cuando  $p \leq 0.05$  se estará rechazando la hipótesis nula planteada de  $\rho = 0$ .

Así mismo, se realizaron los análisis inferenciales específicos o prueba de hipótesis, de acuerdo al compromiso establecido en los objetivos específicos tres y cuatro, tal como: (a) el Análisis de Varianza Univariado (ANOVA de Fisher) y el test de Fisher (prueba de LSD). Los análisis inferenciales antes descritos, se realizaron utilizando el software estadístico Infostat v 2017 para Windows, de acuerdo a los procedimientos estadísticos descritos en (Dicovski & Pedroza Pacheco, 2006)

## CAPITULO IX. RESULTADOS

**OE1: Caracterizar las propiedades básicas de los sustratos orgánicos que permiten la generación de biogás que se obtiene en el proceso de conversión.**

Se realizaron experimentos en Diseños completamente aleatorio (DCA) con 6 repeticiones, los tratamientos surgen de un arreglo factorial, debido a la dependencia de la variable respuesta (Masa Sólidos volátiles), las covariables que se utilizaron fueron: 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), igualmente se realizaron comparaciones múltiples del tipo LSD de Fisher (Diferencia mínima significativa) para evaluar diferencias entre los dos sustratos. Los análisis se realizaron usando modelos lineales generales y mixtos a través de Infostat con la interface complementaria de R.



*Grafica 1: Diagnósticos generados con el programa*

El gráfico de caja muestra una considerable diferencia entre los dos sustratos conformen a los aprovechamientos de los sólidos volátiles siendo el aserrín mejor según los resultados obtenidos por el programa, en los diagramas de dispersión se muestra las doce repeticiones realizadas (6 de cada sustrato) las cuales siguen la línea de parámetro por lo que se muestra que los puntos están en secuencia o siguen un orden demostrando estos la normalidad de los datos.

## **MODELOS LINEALES GENERALES Y MIXTOS ESPECIFICACIÓN DEL MODELO EN R**

### **Resultados para el modelo: `mlm.modelo.004_Masa.Solidos.Volatiles_REML`**

*Variable dependiente: Masa.Solidos.Volatiles*

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

<u>N</u>	<u>AIC</u>	<u>BIC</u>	<u>logLik</u>	<u>Sigma</u>	<u>R2</u>	<u>0</u>
----------	------------	------------	---------------	--------------	-----------	----------

12	101.47	102.27	-48.74	18.15		
----	--------	--------	--------	-------	--	--

*AIC y BIC menores implica mejor*

Al realizar la comparación de modelos observamos que los AIC y BIC (criterios de verosimilitud) nos permiten observar que el último modelo (0.04) ajustado es mejor y por lo tanto la interpretación de las pruebas de hipótesis debe basarse en este último.

### **Pruebas de hipótesis marginales `mlm.modelo.004_Masa.Solidos.Volatiles_REML`**

<u>NumDF</u>	<u>F-value</u>	<u>p-value</u>
--------------	----------------	----------------

(Intercept)	1	21.42 0.0007
-------------	---	--------------

## Pruebas de hipótesis secuenciales

<u>NumDF</u>	<u>F-value</u>	<u>p-value</u>
(Intercept)	1	21.42 0.0007

Las pruebas de hipótesis secuenciales resultan igual que las marginales en este caso porque los datos son fluctuados.

### Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.00000

Error: 0.0000 gl: 8

<u>Tratamientos</u>	<u>Mediasn</u>	<u>E.E.</u>
Pasto	24.25 6	0.00 A
Aserrín	24.25 6	0.00 A

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

La prueba LSD Fisher, **con un Alfa = 0.05**, permitió demostrar que, las materia orgánicas de Aserrín y pasto son buenas en cuanto a sus sólidos volátiles,

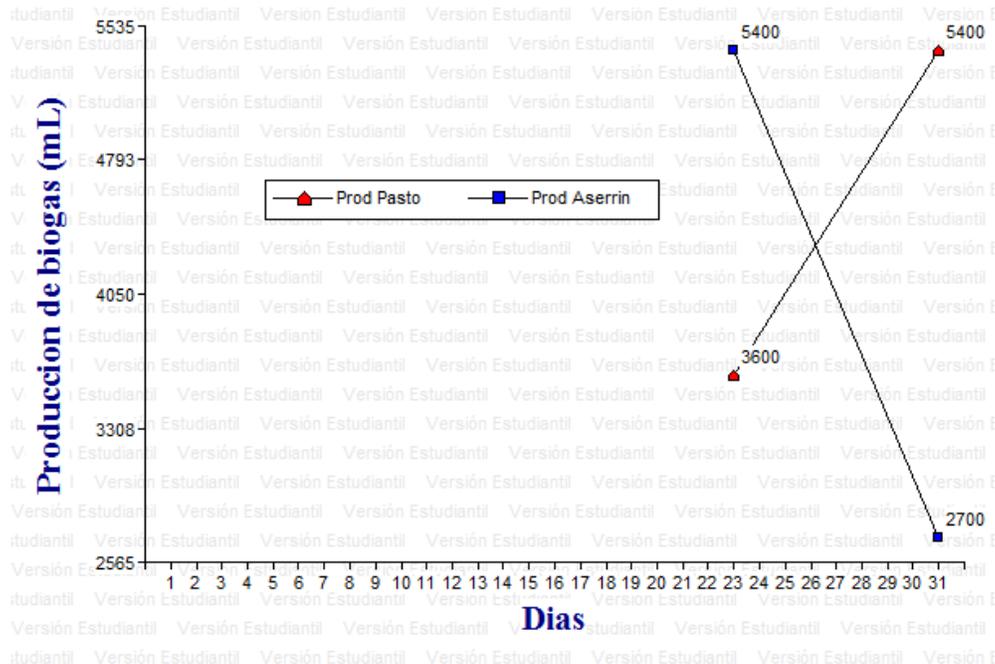
## OE2: Producción de biogás de los diversos sustratos orgánicos en función del rendimiento de cada una de las muestras que se sometían a dicho proceso.

En la gráfica N°2 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 los días 23 y 31, 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 Aserrín, con una producción total de 9000 ml, equivalente a 9 litros de biogás, seguido por el de pasto con una producción 8100 ml, equivalente a 8.1 litros.

Se observa la producción a partir del día 23, siendo el aserrín el sustrato con mayor producción y en el otro sustrato, el pasto se muestra un aumento en la producción del considerablemente al agregar inóculo de una materia fresca (caballo).



**Grafica 2: Producción de Biogás**

**OE3: Correlacionar los parámetros ambientales y operacionales del proceso metanogénico de la generación de biogás generado en un biodigestor tipo Bach.**

**a) Temperatura**

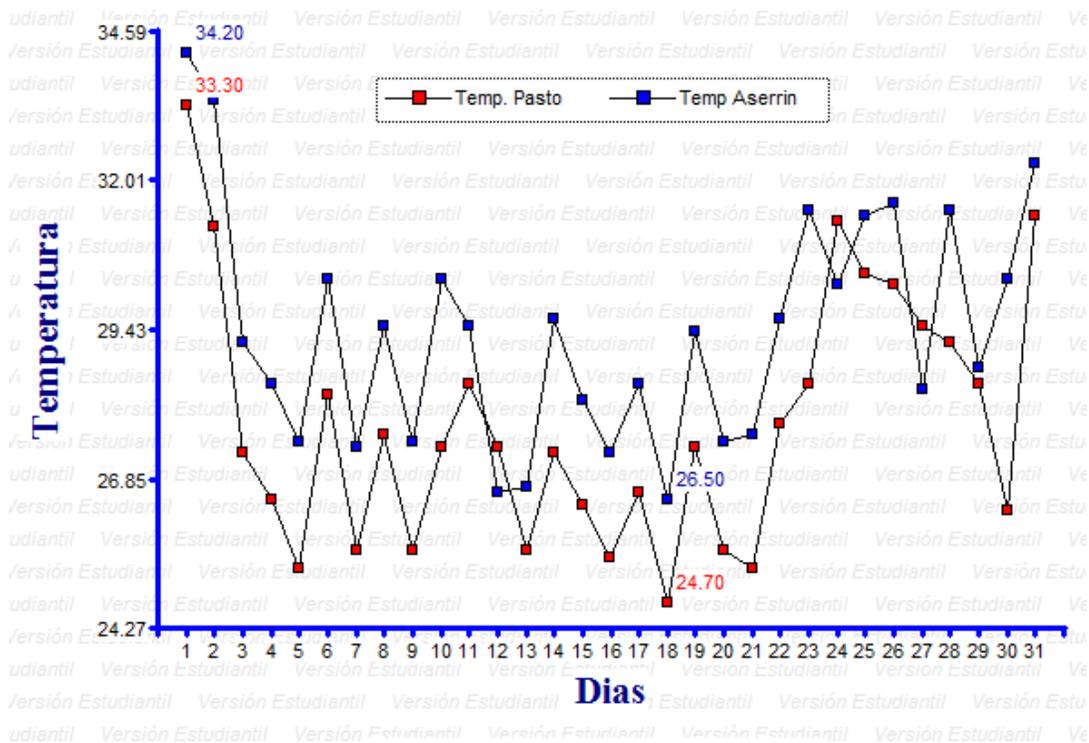
Uno de los factores ambientales más importantes dentro del proceso de digestión anaerobia es la temperatura de operación de los biodigestores, además de ser considerado un parámetro principal para el diseño, debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de la digestión anaerobia. Existen tres rangos de temperatura en los que se puede llevar a cabo la digestión anaerobia, los Psicrófilos que se encuentran por debajo de los 25°C, los mesófilos (25 y 45°C) y termófilos (45 y 65°C). (Martí Ortega, 2002). La tabla N°6 recoge los valores promedios de este experimento.

<b>Biodigestores</b>	<b>Temperatura °C</b>
<b>Aserrín</b>	<b>29.38</b>
<b>Pasto</b>	<b>27.79</b>

**Tabla 4:** *Valores promedios de temperatura de los biodigestores*

La media de temperatura obtenida a través del programa Infostat, nos indica que los biodigestores estaban operando en régimen mesófilos (25 y 45°C), no se detectaron variaciones bruscas de temperatura dentro del, por tal motivo se considera excelente la temperatura obtenida.

El gráfico N°3 muestra las temperaturas obtenidas en los 2 biodigestores, se muestra que desde el inicio de la puesta en operación de los biodigestores se mantuvo en el rango normal de operación hemofílico alcanzando mayores temperaturas los primeros días luego siendo constantes si cambios bruscos.



**Grafica 3: Temperatura de los 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 menor de 6 genera un biogás muy pobre en metano y por consecuencia tiene menores cualidades energéticas.

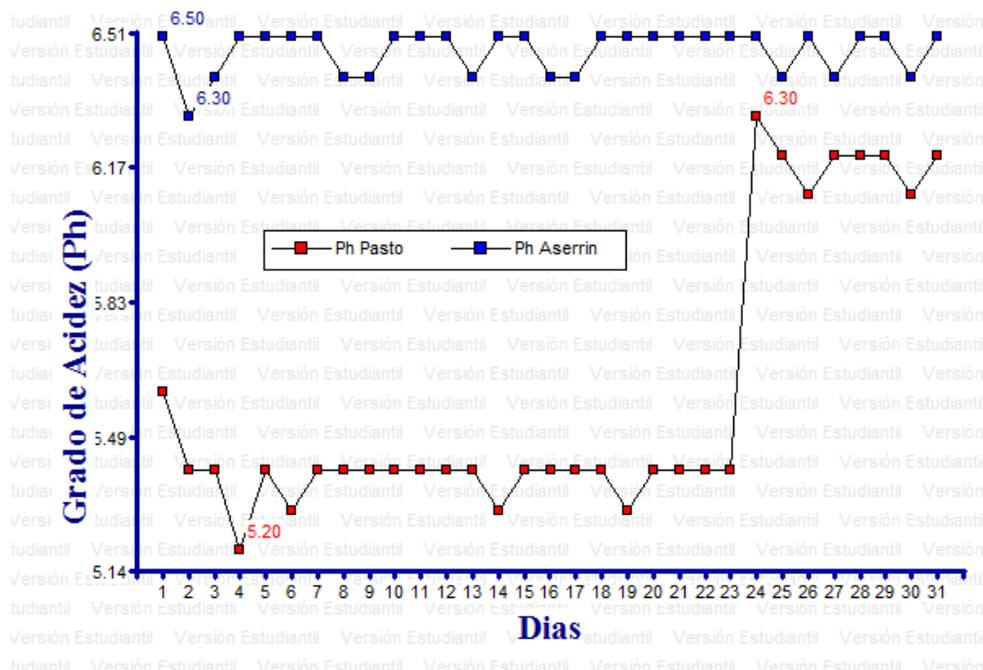
El rango óptimo del pH para lograr una mayor eficiencia en la biodigestión es entre 6 a 8 (McCarty, 2013). La tabla N°7 recoge los valores promedios de este experimento.

Biodigestores	pH
Aserrín	6.4
Pasto	5.5

**Tabla 5: Medidas 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.



**Grafica 4:** Medicines de Ph de los biodigestores

El grafico N°4 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 23 manteniéndose en el rango hasta el día en que finalizó la experimentación.

### Prueba de hipótesis estadística

Ho: En las etapas de digestión anaerobia, la generación de biogás se mejoraría a partir de aprovechamiento de sustratos orgánicos (aserrín y pasto), siempre y cuando los parámetros, físicos (Temperatura, Masa seca, Masa Húmeda), químicos (PH) y biológicos (Contaminantes) se encuentre en rangos óptimos, en la ciudad de Estelí en el año 2017.

### **Coefficientes de correlación**

#### *Correlación de Pearson*

<u>Variable (1)</u>	<u>Variable (2)</u>	<u>n</u>	<u>Pearson</u>	<u>p-valor</u>
Prod Pasto	Ph Pasto	2	1.00	0.0001
Prod Pasto	Temp. Pasto	2	1.00	0.0001
Ph Pasto	Temp. Pasto	31	0.56	0.0010

---

### **Coefficientes de correlación**

#### *Correlación de Pearson*

<u>Variable (1)</u>	<u>Variable (2)</u>	<u>n</u>	<u>Pearson</u>	<u>p-valor</u>
Prod Aserrin	Ph Aserrin	2	0.00	>0.9999
Prod Aserrin	Temp Aserrin	2	-1.00	sd
Ph Aserrín	Temp Aserrín	31	-0.07	0.6935

---

La realización de esta prueba de correlación de Pearson, dado el resultado obtenido se puede afirmar que se acepta la Ho: En las etapas de digestión anaerobia, la generación de biogás se mejoraría a partir de aprovechamiento de sustratos orgánicos (aserrín y pasto), siempre y cuando los parámetros, físicos (Temperatura, Masa seca, Masa Húmeda), químicos (PH) y biológicos (Contaminantes) se encuentre en rangos óptimos, en la ciudad de Estelí en

el año 2017., con la obtención de un  $p = 0.0001$  y  $p = 0.0001$ , el cual es menor que el nivel crítico de comparación establecido de  $\alpha = 0,05$ . Claramente se ve que existe *una diferencia significativa (sd)*, lo cual demostró que existe una correlación de significancia de la temperatura y pH sobre la variable respuesta *producción de biogás*.

Se presentan ambas pruebas de los dos sustratos resultando que el sustrato Pasto cumplió que la producción de biogás cumple con los parámetros (Ph y Temperatura), al igual en el sustrato aserrín se muestra un valor de p con diferencia significativa, pero los demás datos alterados ya que su producción fue alterada al introducir un inóculo de muestras fresca.

**OE4: Establecer el impacto económico, social, ambiental y de salud del uso de biodigestores en distintas en la comunidad de Potrerillo.**

N°	Preguntas	Aspecto	Respuesta
1	¿Considera que con el uso de los biodigestores los beneficiarios han mejora su calidad de vida?	Económico	Si. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduccion de Gasto (Cilindro de Gas, trabajo en recoleccion de leña)</li> </ul>
2	¿De dónde provino el financiamiento de este proyecto, el beneficiario pago todo, un porcentaje o nada?	Económico	CARITAS - ESTELI
3	¿Cuál fue la razón que los motivo a implementar el proyecto de biodigestores en esta comunidad?	Social	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La comunidad a tenido participacion en estos proyectos</li> </ul>
4	¿Cómo se dio inicio a la organización del proyecto con los comunitarios?	Social	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mediante el secretario de la comunidad</li> </ul>
5	¿Han sido capacitados los beneficiarios para el uso y mantenimiento de los biodigestores?	Ambiental	Si. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Al inicio del proyecto en el uso y para dar el mantenimiento</li> </ul>
6	¿Cuáles son las lecciones aprendidas con la implementación de este tipo de tecnología?	Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menos tala de arboles</li> <li>• Menos emisiones de humo</li> <li>• Se mantienen los rios</li> </ul>
7	¿Cuáles son los beneficios que se ha logrado con la implementación de esta tecnología?	Salud	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se perjudica a la familia con el humo</li> <li>• Se ahorra tiempo y trabajo</li> </ul>
8	¿Considera usted que con la implementación de esta tecnología, ha ayudado a mejorar su salud?	Salud	Si. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Menos dolores musculares</li> <li>• Se evita cualquier accidente</li> <li>• No se absorbe humo a la hora de encender el fuego.</li> </ul>

*Tabla 6: Matriz de Entrevista*

Como podemos observar en la matriz anterior se aplicó una entrevista con 8 preguntas esenciales, que corresponden 4 aspectos importantes para comprender lo que dice la población sobre el uso de los biodigestores en la comunidad de Potrerillo.

La entrevista se aplicó a las personas responsables de la comunidad quienes nos brindaron información necesaria como:

En la Parte económica se conoció que el implemento de esta tecnología trajo consigo una reducción al ahorro de las casas ya que no comprarían cilindros de gas, al pagar por leña y a la pérdida de tiempo.

El organismo que financio este proyecto fue Caritas Estelí, el cual entrego el apoyo completo a algunas familias de la comunidad, mientras que otras recibieron la mitad del financiamiento y algunas solamente la bolsa que cubre el biodigestor.

En la parte social las personas de la comunidad compartieron que este proyecto se realizó en esa comunidad ya que se había participado en otros proyectos similares y los cuales se había cumplido con las actividades, manteniendo los proyectos

El organismo contacto al secretario de la comunidad el cual organizo reuniones en la comunidad para llegar a un acuerdo que permitiera llevar a cabo la realización del proyecto.

En la parte ambiental las personas de la comunidad comentaron, que recibieron una capacitación al inicio del proyecto sobre el uso de los biodigestores y al igual a darle un correcto mantenimiento para aprovechar completamente los residuos y no contaminar el ambiente, También que hubo reducción de la tala de árboles por la cual los ríos no se secaban y ya no había emisión de humo.

Por último, en la parte de salud, expresaron que ya las familias no se perjudicaban con el humo, que se evitaban la carga de leña la cual causaba dolores musculares, se evitaban accidentes como caídas o cortes y se ahorran tiempo en traer leña y dinero en la compra de esta.

## **CAPITULO X. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.**

Para la obtención de los resultados se utilizó infostat, para caracterizar las propiedades básicas de los sustratos de masa seca y cenizas, los análisis se realizaron usando modelos lineales generales y mixtos con la interface complementaria R y dando como resultado un mejor rendimiento la masa seca y ceniza que se extrajo del aserrín.

Infostat se utilizó para las pruebas de hipótesis Marginales y secuenciales, ambas hipótesis resultan el mismo resultado ya que los datos son fluctuados

La prueba LSD Fisher, con un Alfa = 0.05, permitió demostrar que, las materias orgánicas de Aserrín y pasto son buenas en cuanto a sus sólidos volátiles

En infostat se realizaron gráficos para demostrar de manera detallada los valores referentes a la producción de biogás conforme a los días de operación de los reactores tipo Batch, así como en otras se muestra el estado de las temperaturas en los días que estuvo en funcionamiento y otra que se muestra cómo se mantuvo el PH durante las mediciones que se le realizaban

Igualmente se realizó una prueba de hipótesis estadística Utilizando la Correlación de Pearson. La realización de esta prueba de correlación de Pearson dio como resultado que se acepta la H0.

Se realizó una entrevista en la comunidad de potrerrillo la cual por medio de CARITAS – ESTELI realizo el proyecto de construcción de 5 biodigestores, los cuales actualmente solo están en funcionamiento 2, el proyecto se llevó a cabo en coordinación con el secretario de la comunidad, organizando reuniones con la población, la entrevista se realizó con los jefes de familia, los cuales compartieron sus experiencias con los biodigestores expresando que estos aportaron un avance tecnológico y ambiental, ya que les trajo un cambio a la cocción de alimentos, ahorrándoles dinero y tiempo, al igual a mejorar la salud de la familia evitándoles cargar leña e inhalar humo, un aporte ambiental en la comunidad reduciendo la tala de árboles y por ende evitar la perdidas de los ríos.

## **CAPITULO XI. CONCLUSIONES.**

La Caracterización de las propiedades básicas de la materia orgánica utilizada en el estudio realizada mediante modelos lineales generales permitió demostrar que, el sustrato orgánico aserrín es el mejor en cuanto a los sustratos utilizados, esto también quedo demostrado al hacer la prueba de la llama utilizando un encendedor , sin embargo si existen diferencias estadísticamente significativas con el sustrato de pasto 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 y se apagaba rápidamente.

El proceso de digestión anaeróbico en los biodigestores se realizó de manera satisfactoria, el comportamiento del pH se presentó de una forma estable en el aserrín, variando un poco en el pasto al aumentar en los últimos días de las mediciones 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 investigación se concluye de manera satisfactoria; el biogás generado en la fermentación de los sustratos estudiados es eficaz y como una forma de energía sustentable que funciona a base de dicho combustible es 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 instalo un filtro o trampa con agua y cal (solución acuosa), que permitió absorber el CO<sub>2</sub> y los H<sub>2</sub>S.

Este tipo de biodigestores es adecuado para fincas y granjas donde el clima es frio y que requieren autoabastecerse de energía tanto para la cocción de sus alimentos como para la generación de electricidad y calefacción mediante generadores pequeños y calentadores que pueden adaptarse al funcionamiento con biogás.

El Biodigestor es un recurso barato ya que permite a la población rural abastecerse de energía, un Biodigestor y la vez reutiliza los desechos. También se puede usar en ambientes urbanos, sirviendo como gran reciclador de materia. Otra de las grandes ventajas de este método es que los residuos materiales que quedan de la fermentación son absolutamente útiles ya que funcionan como abono.

Para finalizar, la entrevista realizada en la comunidad de potrerillo la cual por medio de CARITAS – ESTELI realizo el proyecto de construcción de 5 biodigestores, los cuales actualmente solo están en funcionamiento 2, el proyecto se llevó a cabo en coordinación con el secretario de la comunidad, organizando reuniones con la población, la entrevista se realizó con los jefes de familia, los cuales compartieron sus experiencias con los biodigestores. En la Parte económica se conoció que el implemento de esta tecnología trajo consigo una reducción al ahorro de las casas ya que no comprarían cilindros de gas, al pagar por leña y a la pérdida de tiempo, en la parte social las personas de la comunidad compartieron que este proyecto se realizó en esa comunidad ya que se había participado en otros proyectos similares y los cuales se había cumplido con las actividades, manteniendo los proyectos, en la parte ambiental las personas de la comunidad comentaron, que recibieron una capacitación al inicio del proyecto sobre el uso de los biodigestores y al igual a darle un correcto mantenimiento para aprovechar completamente los residuos y no contaminar el ambiente, también que hubo reducción de la tala de árboles por la cual los ríos no se secaban y ya no había emisión de humo y por último en la parte de salud, expresaron que ya las familias no se perjudicaba con el humo, que se evitaban la carga de leña la cual causaba dolores musculares, se evitaban accidentes como caídas o cortes y se ahorraban tiempo en traer leña y dinero en la compra de esta.

## CAPITULO XII. RECOMENDACIONES.

Recomendaciones al realizar investigaciones sobre Biodigestores de digestión anaerobia.

- Utilizar un programa como es infostat este es un programa estadístico desarrollado en el ambiente Windows y este programa nos permite un rápido acceso a herramientas para el manejo de datos como por ejemplo utilizar fórmulas, aplicar transformaciones, ordenar, categorizar variables, generar variables aleatorias mediante el uso de la simulación, concatenar tablas, seleccionar registros activos, etc.
- Mantener controlado el PH para lograr una mejor digestión, utilizando un pH metro e instalar termómetros para mantener controlada la temperatura e identificar así en que rango de temperatura se mantiene el biodigestor
- 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. En este caso utilizamos 2:1
- Utilizar un inocular para acelerar la digestión anaerobia. Este inocular puede ser un poco de estiércol. El inocular utilizado en esta investigación fue estiércol de caballo.
- Para que el proceso de digestión anaerobia sea correcto se necesita de un contenedor herméticamente cerrado para que al producirse dicha digestión los gases no se escapen.
- Utilizar un filtro para que la llama resultante sea azul y no contenga ningún contaminante en este caso utilizamos un filtro con agua y cal (solución acuosa), que permitió absorber el CO<sub>2</sub> y los H<sub>2</sub>S.
- Se puede utilizar el biogás generado en la fermentación de los sustratos estudiados 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.
- Para este tipo de investigaciones se recomienda utilizar biodigestores tipo batch, Este tipo de digestor se carga una sola vez en forma total y la descarga se efectúa una vez que ha dejado de producir gas. Este tipo de digestor es también ideal a nivel de

laboratorio si se desean evaluar los parámetros del proceso o el comportamiento de un residuo orgánico o una mezcla de ellas.

## CAPITULO XIII. BIBLIOGRAFÍA

- Asofenix. (2008). Instalación de Biodigestores en Comunidades de Teustepe y San Jose de los Remates. Managua : Asofenix. Recuperado el Mayo de 2016 .
- Boyle. (2004). Renewable Energy. New york: Oxford University Press.
- Calzada, A. G. (2006). *Producción de biogás a partir de Micro algas y cianobacterias*. España: Universidad Politecnica de Catalunia.
- Contretas. (2006). Producción de biogás con fines energéticos . De lo histórico a lo estratégico. .
- Dicovski, L. M., & Pedroza Pacheco, M. E. (2006). *Sistema de análisis estadísticos con SPSS*. Managua.
- FAO. (2013). Producción de biogas por metanogénesis. Aprovechamiento de residuos sólidos, 42-47. Recuperado el 5 de Mayo de 2016 .
- Garcia Guterrez, G., Mondaca Fernandez, I., Meza Montenegro, M., Balledera Cortez, J., & Gortarez Moroyoqui, P. (Julio de 2012). Recuperado el 2017, 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)
- Guevara, A. (1996). Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad.
- Han, J. (2008). Small scale fuel wood project in rural china. Energy Polici, 36, 2154-2162.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Libro Metodología de la Investigación 6ta edición SAMPIERI*. 6ta edición SAMPIERI.
- Hilbert, J. (2007). Manual para la producción de biogás . México DF: Castelar . .
- Jarauta.L. (2005). Digestión anaerobia para el tratameinto de residuos orgánicos . El caso de Perú.
- Lugones. (2001). Analisis de biodigestores en funcionamiento . Habana, Cuba. .
- Mae-Wan, H. (2008). Biogas bonanza for third wordl development. Institute of science in societyt.
- Martínez Martín, M. (2002). La universidad como espacio de aprendizaje ético.
- Osorio Saraz, J. A., Ciro Velásquez, H. J., & González Sánchez, H. (2007). EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE BIODIGESTIÓN EN SERIE PARA CLIMA FRÍO.
- Pedroza Pacheco, M. (1993). *Fundamentos de Experimentación Agrícola 1era edicion*. Editorial de arte S.A.
- Peteiro, C., Prado, O., & Garcia-Tasende, M. (2016). El potencial de la maricultura de laminarias como fuente para la obtención de biocombustibles y otros bioproductos en la costa atlántica de España. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Alga*, 16-29.

- Pineda, E., De Alvarado, E. L., & Hernández De Canales, F. (1994). *Metodología de la Investigación (Segunda ed.)*. OPS.
- Piura López, J. (2006). *Metodología de la investigación científica*. Managua: PAVSA.
- Rehman, D. &. (1997). Biogas: the Indian NGO experience. AFPRO-CHF network programme.
- Rodriguez, M. (2013). Historia del biogás , primeros pasos. *Ciencia y sociedad*, 72-77. .
- Rong Cui, D. J. (2006). Enhanced Methane Production from Anaerobic Digestion of Disintegrated and Deproteinized Excess Sludge.
- Sandavol, A. (2006). Manual de tecnologías limpias en Pymes. Perú .
- Toruño Sotelo, L. A., Casco Dávila, D. M., & Lira Ruiz., E. I. (2016). *Estudio de producción de biogás por medio del proceso de digestión anaerobia no controlada a partir de diversos sustratos orgánicos en la Facultad Regional Multidisciplinaria (FAREM – ESTELÍ), II Semestre de 2016*. Esteli.
- Valdivia. (2000). Uso de Biogás para la generación de energía eléctrica mediante un motor gasolinerero estacionario modificado. Lima, Perú. .
- Weiland. (2007). Meeting of IEA Bioenergy.
- Winter, C. G. (1997). Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of source-sorted organic wastes: effect of ammonia on glucose degradation and methane production.
- X. Flotats, E. C. (2001). Digestión anaerobia de purines de cerdo y co-digestión con.

# ANEXOS

## Anexo 1. Tabla de Datos de pruebas en Hornos



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA  
UNAN-MANAGUA  
FACULTAD REGIONAL MULTIDISCIPLINARIA  
FAREM- ESTELI

COD. 0002

Formato de registro de datos de producción de biogas

GENERACIÓN DE BIOGÁS MEDIANTE EL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA  
A PARTIR DE APROVECHAMIENTO DE SUSTRATOS ORGÁNICO EN LA CIUDAD DE ESTELI EN EL AÑO 2017

Línea de investigación: Biomasa

Responsable: \_\_\_\_\_

Lugar: \_\_\_\_\_ Hora/Fecha: \_\_\_\_\_

### Muestras de los sustratos (Afluentes)

Tipo de Sustrato	Temp. Inicial	105°C	Hora Inicio: 4:35 PM	Masa Seca (g)	Hora Final: 8:37 PM	%MH( Mrh% = Mh/Mb *(100%))	Temp. Final	550°C	Hora Inicial: 9:34 AM	Hora Final: 1:35 AM
	Muestras	Masa Bruta(Mb- Ms +Mr)	Masa Humeda (g)		%Ms( Mrr% = Ms/Mb *(100%))		Cenizas (g)	Msv=(Ms-Mc)	% Cenizas( Mrc% = Mc/Ms *(100%))	% Sólidos Volátiles ( Mrs% = Ms
Aserrín	Muestra 5	100g								
Pasto	Muestra 6	100g								

## Anexo 2. Tabla de datos de produccion de biogas



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA  
UNAN-MANAGUA  
FACULTAD REGIONAL MULTIDISCIPLINARIA  
FAREM- ESTELÍ  
Formato de registro de datos de produccion de biogas

GENERACIÓN DE BIOGÁS MEDIANTE EL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA  
A PARTIR DE APROVECHAMIENTO DE SUSTRATOS ORGÁNICO EN LA CIUDAD DE ESTELÍ EN EL AÑO 2017

Línea de investigación: Biomasa

Responsables: \_\_\_\_\_

Lugar : \_\_\_\_\_ Fecha de inicio: \_\_\_\_\_ Fecha de Finalización: \_\_\_\_\_

### Muestras de los sustratos (Efluentes) Relación de cada sustrato 2:1

Muestra #1 Pasto				Muestra #2 Aserrin			
TR(Días)	Temperatura(°C)	pH	Producción(ml)	TR(Días)	Temperatura(°C)	pH	Producción(ml)
1	33.3	5.6		1	34.2	6.5	
2				2			
3				3			
4				4			
5				5			
6				6			
7				7			
8				8			
9				9			
10				10			
11				11			
12				12			
13				13			
..				..			

### Anexo 3. Base de datos pruebas en hornos

InfoStat/E - base datos pasto aserrin

Archivo Edición Datos Resultados Estadísticas Gráficos Ventanas Aplicaciones Ayuda [R]

base datos pasto aserrin

Caso	Tratamientos	Observaciones	Masa bruta	Masa Humeda	Masa Seca	Cenizas	Masa Solidos Volatiles	% Solidos volatiles
1	aserrin	1	100	45	55	13	42	76.00
2	aserrin	2	100	54	46	5	41	89.00
3	aserrin	3	100	48	52	7	45	86.00
4	aserrin	4	100	42	58	10	48	83.00
5	aserrin	5	100	60	40	5	35	88.00
6	aserrin	6	100	58	42	5	37	88.00
7	pasto	1	50	38	12	6	6	50.00
8	pasto	2	50	39	11	5	6	54.00
9	pasto	3	50	38	12	4	8	66.00
10	pasto	4	50	36	14	6	8	57.00
11	pasto	5	50	37	13	5	8	61.00
12	pasto	6	50	38	12	5	7	58.00

A-R Port = 26839/IR

Anexo 4. Base de datos Temperaruta, Ph y Produccion de biogas.

InfoStat/E - BDDProduccion de Biogas aserrin y pasto - [BDDProduccion de Biogas aserrin y pasto]

Archivo Edición Datos Resultados Estadísticas Gráficos Ventanas Aplicaciones Ayuda [R]

Caso	Dias	temp aserrin	Ph aserrin	Prod aserrin	Temp pasto	Ph pasto	Prod pasto
1	1.00	33.30	5.60		34.20	6.50	
2	2.00	31.20	5.40		33.40	6.30	
3	3.00	27.30	5.40		29.20	6.40	
4	4.00	26.50	5.20		28.50	6.50	
5	5.00	25.30	5.40		27.50	6.50	
6	6.00	28.30	5.30		30.30	6.50	
7	7.00	25.60	5.40		27.40	6.50	
8	8.00	27.60	5.40		29.50	6.40	
9	9.00	25.60	5.40		27.50	6.40	
10	10.00	27.40	5.40		30.30	6.50	
11	11.00	28.50	5.40		29.50	6.50	
12	12.00	27.40	5.40		26.60	6.50	
13	13.00	25.60	5.40		26.70	6.40	
14	14.00	27.30	5.30		29.60	6.50	
15	15.00	26.40	5.40		28.20	6.50	
16	16.00	25.50	5.40		27.30	6.40	
17	17.00	26.60	5.40		28.50	6.40	
18	18.00	24.70	5.40		26.50	6.50	
19	19.00	27.40	5.30		29.40	6.50	
20	20.00	25.60	5.40		27.50	6.50	
21	21.00	25.30	5.40		27.60	6.50	
22	22.00	27.80	5.40		29.60	6.50	
23	23.00	28.50	5.40	3600	31.50	6.50	5400

Real | Registros: 39\*7

A-R Port = 26839/IR

Anexo 5: Calendario de actividades

Etapa	Actividad										
		3	4	5	6	7	9	10	11	12	1
<b>Etapa I</b>	Elaboración de protocolo de investigación.										
<b>Etapa II</b>	Defensa de protocolo de investigación.										
<b>Etapa III</b>	Ejecución del protocolo (recolección de datos cuantitativos y cualitativos).										
<b>Etapa IV</b>	Elaboración y depuración de la base de datos. Análisis estadístico.										
<b>Etapa V</b>	Elaboración del informe final de investigación.										
<b>Etapa VI</b>	Defensa de informe final de investigación.										

*Tabla 7: Cronograma de actividades*

Anexo 6: Presupuesto.

<b>Cantidad</b>	<b>Elemento</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Total</b>
2	Tubo pvc de ½ pulg	C\$40.00	C\$80.00
3	Recipiente de 20 lts	C\$90.00	C\$270.00
3	Codos de ½	C\$4.00	C\$12.00
3	Uniones de ½	C\$4.00	C\$12.00
3	T de ½	C\$4.00	C\$12.00
3	Llaves de pase de ½	C\$25.00	C\$75.00
3	Tapones de ½	C\$4.00	C\$12.00
3	Termómetros digitales	C\$400.00	C\$1,200.00
1	PH – metro	C\$600.00	C\$600.00
5 m	Manguera	C\$200.00	C\$1,000.00
2	Neumáticos de Motos	C\$250.00	C\$500.00
3	Válvulas de aire	C\$30.00	C\$90.00
<b>TOTAL</b>			<b>C\$3,863.00</b>

*Tabla 8: Presupuesto*

## **Cuestionario para Entrevista a Beneficiarios del Proyecto**

1. ¿Cuál fue la razón que los motivo a implementar el proyecto de biodigestores en esta comunidad?
2. ¿Cómo se dio inicio a la organización del proyecto con los comunitarios?
3. Considera que con el uso de los biodigestores los beneficiarios han mejora su calidad de vida?
4. ¿Han sido capacitados los beneficiarios para el uso y mantenimiento de los biodigestores?
5. ¿De dónde provino el financiamiento de este proyecto, el beneficiario pago todo, un porcentaje o nada?
6. ¿Cuáles son los beneficios que se ha logrado con la implementación de esta tecnología?
7. ¿Cuáles son las lecciones aprendidas con la implementación de este tipo de tecnología?
8. ¿Considera usted que, con la implementación de esta tecnología, ha ayudado a mejorar su salud?

¡¡ Muchas Gracias!!

Anexo 6: Actividades realizadas en el proceso de trabajo.



*Figura 13: Muestras de Pasto en horno a 105°C*



*Figura 14: Muestras de Aserrín en horno a 105°C*



*Figura 15: Muestras de Aserrín en Horno a 550°C*



*Figura 16: Cenizas de las muestras*



*Figura 17: Unidades Experimentales*



*Figura 18: Prueba de probeta para producción de biogas*



*Figura 19: Biodigestor de comunidad de Estelí*

