



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA  
UNAN-MANAGUA

## **Facultad Regional Multidisciplinaria, FAREM–Estelí**

**Evaluación del lactosuero, excretas de vacuno y caprino a través de la codigestión anaerobia no controlada para la generación de biogás en la empresa ASOPASN, en la comunidad La Garnacha, San Nicolas**

### **Trabajo monográfico para optar**

Al grado de

### **Ingeniero en Energías Renovables**

### **Autores**

Br. Emilia Vanessa Orozco Hernández

Br. Harold Skayleer Torrez Rivera

Br. Jesús Aarón López Herrera

### **Tutor:**

Dr. Edwin Reyes Aguilera

Estelí, 17 de mayo de 2022



## **Dedicatoria**

*“El verdadero propósito de cualquier objetivo es, enriquecerte como persona a raíz del esfuerzo realizado para satisfacerlo. La verdadera recompensa es moral”.*

Anthony Robbins

A Dios, porque hasta aquí nos ha traído su voluntad, por la sabiduría, y en su nombre ponemos nuestros planes y propósitos para que seamos instrumentos de bien y sirvamos con amor al que más lo necesite en lo que sea que nos tenga preparado para el futuro.

A nuestros padres, porque nos inculcaron el camino del saber, a ser mejor cada día, a no rendirnos durante la carrera, por ser motivación para cada uno de nosotros y gracias a sus grandes esfuerzos hoy estamos entregándoles un poquito de gratitud.

A grandes docentes que fueron parte en nuestro crecimiento personal y profesional, en la carrera universitaria a todos sin excepción alguna, estamos seguros que marcaron nuestro futuro y sembraron su semilla del saber en esta tierra que apenas comienza a germinar.

“A la memoria de Dr. Lizandro D` León Mairena QEPD”

## **Agradecimientos**

A Dios, por la dicha de tener salud, porque cada día su misericordia esta aun con nosotros y que no, nos ha soltado de su mano y nos bendice cada día con el simple hecho de seguir teniendo a nuestras familias unidas por encima de cualquier adversidad que nos ha tocado enfrentar.

Les damos las gracias a nuestros padres, porque los hemos visto luchando, pero nunca rendirse y ese es el legado que hoy estamos reafirmando, gracias por seguir aquí en pie de lucha, esperamos que nos alcance la vida para recompensar todo lo que hicieron y hacen por nosotros.

- Yo Emilia agradezco a mi padre Eduardo Orozco, a mi madre Rosario Hernández.
- Yo Aarón agradezco a mi padre Silvio López y a mi madre Silvia Herrera.
- Yo Harold agradezco a mi padre Harold Torrez y a mi madre Jamileth Rivera.

A nuestro tutor Dr. Edwin Antonio Reyes Aguilera por habernos guiado con esfuerzo y dedicación en el proceso de aprendizaje en nuestra carrera universitaria y entrega incondicional en nuestra tesis, donde más que un docente encontramos un buen amigo.

A nuestra alma mater FAREM-Estelí por habernos permitido formarnos como profesionales, porque más que una escuela, que nos acogió como un segundo hogar, nos regaló hermanos de vida y padres de conocimientos que nos prepararon para la vida.

Estelí, diecisiete de mayo de 2022

**M.Sc Wilfredo Van de Velde**  
**Director del Departamento de Ciencias Tecnológicas y Salud**  
**FAREM-Estelí, UNAN-Managua**

Reciba mis más respetuosos saludos.

Por este medio estoy autorizando la presentación en defensa del tema de monografía titulado: *Evaluación del lactosuero, excretas de vacuno y caprino a través de la codigestión anaerobia no controlada para la generación de biogás en la empresa ASOPASN, en la comunidad La Garnacha, San Nicolas*, que se inscribe en la línea de investigación: N°4. Ingeniera, Industria y construcción, sub línea IIC-1: Innovación, Tecnología y medio ambiente con la temática IIC-1.1 Energía Renovable de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN –MANAGUA) /Facultad Regional Multidisciplinaria (FAREM – ESTELÍ).

Este trabajo ha sido realizado por los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Energías Renovables:

<b>Nombres y Apellidos</b>	<b>Número de Carnet</b>
Emilia Vanessa Orozco Hernández	17510103
Harold Skayleer Torrez Rivera	17509652
Jesús Aarón López Herrera	17505274

Atentamente,

**Dr. Edwin Antonio Reyes Aguilera**  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0996-1567>  
FAREM – Estelí, UNAN -Managua

## **Resumen**

La presente investigación tuvo como objetivo la evaluación de los residuos orgánicos excretas de vacuno, caprino y residuos lácteos para la generación de biogás mediante el proceso de codigestión anaerobia no controlada. Este estudio se basa en el enfoque filosófico cuantitativo, descriptivo según el nivel de profundidad, el método de investigación es experimental, de acuerdo con el alcance y análisis de los resultados el estudio es correlacional. Los tratamientos seleccionados fueron: excretas de ganado, caprino y lactosuero. La caracterización de las propiedades básicas de los tratamientos en estudio basó en la norma APHA/SM 2540-B. Los resultados determinaron según el análisis de varianza Univariada que existen diferencias significativas entre los tratamientos en estudio, los pH obtenidos en los rangos de temperatura no controlada estuvieron dentro de los rangos óptimos. Los biodigestores a escala de laboratorio estuvieron sometidos a temperaturas mesofílicas de 20°C a 24°C máximo.

Palabras clave: cogestión, residuos orgánicos, biogás.

# Contenido

Capítulo 1 .....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Planteamiento del problema .....	2
1.2.1 Caracterización del problema .....	2
1.2.2 Delimitación del problema.....	2
1.2.3 Formulación del problema .....	3
1.2.4 Sistematización del problema .....	3
1.3 Justificación .....	4
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo general.....	5
1.4.2 Objetivo específico .....	5
Capítulo 2 .....	6
2.1 Antecedentes.....	6
2.2 Marco teórico.....	9
2.2.1 Biomasa .....	9
2.2.1.1 Tipos de Biomasa.....	9
2.2.1.3 Biomasa residual húmeda .....	10
2.2.1.4. Biomasa residual agrícola .....	10
2.2.2 Residuo forestal .....	10
2.2.2.1 Residuos sólidos .....	11
2.2.2.2 Cultivos energéticos.....	11
2.2.2.3 Biocarburantes .....	11
2.2.2.4 Residuos orgánicos biodegradables .....	11
2.2.2.5 Residuos ganaderos.....	12
2.2.2.6 Sector ganadero.....	13
2.2.2.7 Ventajas y desventajas del estiércol.....	13
2.2.2.8 Composición del estiércol.....	14
2.2.2.9 Fuentes de la biomasa .....	15
Características energéticas de la biomasa. ....	15
2.2.2.10 Formas de generar energía a partir de la biomasa.....	16
2.2.3 Derivados de la Biomasa .....	16

2.2.3.1 Biocombustibles .....	16
2.2.3.2 Tipos de combustibles.....	16
2.2.4 Biogás .....	17
2.2.5 Descomposición anaerobia .....	19
2.2.5.1 Fases de la fermentación anaerobia.....	19
2.2.5.2 Procesos de la descomposición anaeróbica.....	20
La hidrólisis.....	20
Acidogénesis .....	21
Acetogénesis.....	21
Metanogénico .....	21
2.2.6 Tipo de materia prima.....	22
2.2.6.1 Temperatura .....	23
2.2.6.2 Valor de acides (PH) .....	25
2.2.6.3 Composición de la materia orgánica .....	26
Humedad .....	26
Sólidos totales .....	26
Sólidos volátiles (SV).....	26
Sólidos fijos (SF).....	26
2.2.7 Biodigestor.....	27
2.2.7.1 Tanque digestor.....	27
2.2.7.2 Almacenamiento y sistema de gas .....	27
2.2.7.3 Tanques de carga.....	28
2.2.7.4 Partes de un biodigestor .....	28
2.2.8 Principales digestores en el medio rural .....	28
2.2.8.1 Modelo Chino.....	28
2.2.8.2 Modelo Indiano .....	29
2.2.8.3 Biodigestores Horizontales .....	30
2.2.8.4 Digestor Batch (discontinuo o régimen estacionario) .....	30
2.2.9 Codigestión anaerobia.....	32
2.2.9.1 Objetivos de la Codigestión anaerobia.....	32
2.2.9.2 Influencia de la codigestión en la producción de biogás.....	33
Hipótesis .....	34

Capítulo 3 .....	35
3.1 Diseño metodológico.....	35
3.1.1 Tipo de estudio.....	35
3.2 Área de estudio .....	36
3.2.1 Ubicación geográfica .....	36
3.2.2 Área de conocimiento .....	36
3.3 Población y muestra.....	36
3.4 Matriz de operación de variables.....	38
3.5 Métodos, técnicas e instrumentos para la recolección de datos e información .....	40
3.6 Procedimientos para la recolección de datos e Información .....	41
3.7 Plan de tabulación y análisis estadístico.....	45
Capítulo 4 .....	46
4.1 Resultados y discusión .....	46
4.1.1 Evaluar las propiedades fisicoquímicas de las excretas de Vacuno y caprino como materia orgánica biodegradable. ....	46
Capítulo 5 .....	61
5.1 Conclusiones .....	61
5.2 Recomendaciones .....	62
5.3 Bibliografía .....	63
Bibliografía.....	63

## Índice de figura

Figura 1: Esquema del Biogás (Hilbert, 2007).....	17
Figura 2. Imagen de biodigestor tipo Chino (Meza García, 2011).....	29
Figura 3. Biodigestor tipo Indiano. (Moreno, 2011) .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 4. Biodigestor tipo Horizontales (Moreno, 2011) .....	30
Figura 6. Biodigestor discontinuo o batch. (Moreno, 2011) .....	32
Figura 7. Foto tomada de Google Maps .....	36
Figura 8. Pesaje de las muestras .....	41
Figura 9. Muestras a 115 grados.....	42
Figura 10. Muestra Sacada del Horno .....	42
Figuras 11. Análisis de cuatro muestras .....	44

# Capítulo 1

## 1.1 Introducción

El desarrollo de la sociedad humana está basado en el consumo de grandes cantidades de energía. Los principales recursos energéticos utilizados (carbón, petróleo y gas natural) son limitados y, por lo tanto, pueden agotarse, además, su utilización provoca un gran impacto ambiental en la biósfera al contaminar aire, agua y suelo. Estos hechos han generado un interés creciente por el desarrollo de nuevas tecnologías para la utilización de alternativas fuentes de energía renovables.

La biomasa puede considerarse como la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía. Estos recursos biomásicos pueden agruparse de forma general en agrícolas y forestales. También se considera biomasa la materia orgánica de las aguas residuales y los lodos de depuradora, así como la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, y otros residuos derivados de las industrias.

El presente trabajo tiene como propósito desarrollar un estudio de producción de biogás a partir de desechos de excretas de ganado, caprino y lactosuero que se producen a diario en la empresa, ASOPASN en la comunidad La Garnacha. Este estudio de acuerdo a su enfoque filosófico, por el uso de instrumentos de recolección de la información, análisis y vinculación de datos es cuantitativo.

## **1.2 Planteamiento del problema**

### **1.2.1 Caracterización del problema**

Una de las problemáticas que atraviesa nuestro país es el alto consumo de gas propano y butano, siendo el gas uno de los recursos de primera necesidad para el diario vivir, siendo así que el gobierno de Nicaragua a congelado actualmente los costos de adquisición de los combustibles y del gas butano en sus diferentes presentaciones. Por otro lado, se emplean tradicionalmente fuentes de energía como opción, la quema de madera para realizar tanto la cocción de los alimentos como medio para desarrollar sus actividades económicas, afectando de esta forma al medio ambiente, o desperdiciando recursos económicos en combustibles de alto costo.

De acuerdo al MEM (2021), casi la mitad del consumo final total de energía corresponde a biomasa (leña, residuos vegetales y otras biomásas), consumida principalmente en sector residencial para cocción de alimentos, con baja eficiencia. El 40.1% a derivados del petróleo, principalmente para transporte y el 11.2% a energía eléctrica para climatización, refrigeración, motores e iluminación.

### **1.2.2 Delimitación del problema**

La empresa ASOPASN ubicada en comunidad La Garnacha, San Nicolas actualmente procesa derivados de la leche de vaca y cabra, entre estos: queso, crema en diferentes presentaciones. Durante el proceso de producción se generan residuos como el suero lácteo, además del estiércol de las vacas y las cabras que desechan al aire libre. Estos residuos producen metano en su descomposición, muy perjudicial al medio ambiente debido a que contaminan el aire y el agua cuando son arrastrados por el agua de lluvia.

De igual manera en ASOPASN están utilizando gas butano que les está resultando muy costoso económicamente adquirirlo debido a las constantes y crecientes alzas en los precios y a eso se le suma que debe comprarse en la ciudad de Estelí por lo que tiene un costo adicional en el transporte.

### **1.2.3 Formulación del problema**

A partir de la caracterización y delimitación del problema antes expuesto, se plantea la pregunta principal del presente estudio: ¿Cuáles son los procedimientos para evaluar los residuos orgánicos para la producción de biogás en la empresa ASOPASN, en la comunidad La Garnacha, San Nicolas, departamento de Estelí durante el año 2021?

### **1.2.4 Sistematización del problema**

Las preguntas de sistematización correspondiente se presentan a continuación:

¿Cómo evaluar las propiedades fisicoquímicas de las excretas de ganado y caprino como materia orgánica biodegradable?

¿Cómo determinar la producción de biogás generado en un biodigestor a escala de laboratorio a partir de los residuos orgánicos sometidos a codigestión anaerobia no controlada?

¿Cómo determinar la correlación entre la temperatura y la producción de biogás que se obtiene en el proceso biológico anaeróbico no controlado?

¿Cómo Dimensionar un biodigestor de acuerdo a la cantidad de materia prima disponible y las necesidades de combustible en ASOPANS?

### 1.3 Justificación

El presente estudio tiene su importancia debido a que se evaluarán los sustratos con los que cuentan en ASOPASN y de esta forma poder tener una idea de cuáles utilizar en mayor o menor medida para su aprovechamiento energético.

ASOPASN sería el principal beneficiado puesto que de implementarse la propuesta de biodigestor les permitiría la obtención de energía para cubrir las necesidades de combustible en la empresa.

Es una buena oportunidad debido a que la gestión y manejo de estos residuos ya no producirá contaminación al aire, suelo y fuentes hídricas, el cual directamente tendrá un impacto positivo en la salud de las personas debido a que no estarán expuestos al metano emanado por estos sustratos.

Económicamente es muy atractivo puesto que la empresa no incurriría en gasto por la compra de gas butano y el dinero ahorrado puede dirigirse a otros gastos propios de las actividades de la empresa.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Evaluar los residuos orgánicos para la producción de biogás en la empresa ASOPASN, en la comunidad La Garnacha, San Nicolas departamento de Estelí durante el periodo de septiembre-diciembre en el año 2021.

### **1.4.2 Objetivo específico**

1. Evaluar las propiedades fisicoquímicas de las excretas de ganado y caprino como materia orgánica biodegradable.
2. Determinar la producción de biogás generado en un biodigestor a escala de laboratorio a partir de los residuos orgánicos sometidos a codigestión anaerobia no controlada.
3. Determinar la correlación entre la temperatura y la producción de biogás que se obtiene en el proceso biológico anaeróbico no controlado.
4. Dimensionar un biodigestor de acuerdo a la cantidad de materia prima disponible y las necesidades de combustible en ASOPASN.

## Capítulo 2

### 2.1 Antecedentes

#### 2.1.1 Antecedentes internacionales

Tomando como antecedente el trabajo académico de Doroteo (2006) el cual tiene por objeto encontrar un uso adecuado de las excretas del ganado con el que cuentan en el establo Los Montaña ya que estas excretas son desechadas en terrenos baldíos a la intemperie, El Biogás consiste principalmente de gas metano (55% - 65%) producido por materia orgánica.

Tiene la ventaja que a través de éste se puede generar energía eléctrica, iluminación, calor y potencia mecánica; el tren metropolitano regiomontano (metro) es el primer transporte colectivo de su tipo en México que utiliza energía generada a través de residuos sólidos para desplazarse. La energía eléctrica utilizada es generada a partir de los gases producidos en la descomposición de los residuos orgánicos de un relleno sanitario generando esto diferentes tipos de contaminación; El Biogás producido por las excretas de ganado cumple con el porcentaje mínimo del 50% de contenido de metano marcado por Dr. José Antonio Guardado Chacón. El estudio muestra un valor económicamente atractivo para la aplicación de este sistema, además de que presenta beneficios incuantificables en el aspecto ambiental, que van de acuerdo al desarrollo sustentable.

El trabajo monográfico presentado por Izaguirre & Vega (2009) donde se realizó un estudio de pre factibilidad para el aprovechamiento del biogás con fines energéticos a partir del estiércol de ganado bovino en la Unidad de Ganado Lechero de Zamorano, Honduras Se evaluó la rentabilidad de un proyecto de recuperación de biogás con fines energéticos utilizando los desechos fecales de la unidad de ganado lechero en Zamorano.

En el sistema experimental que se implementó en Zamorano se usaron dos diluciones agua: estiércol, 70:30 y 80:20, y un tiempo de retención hidráulica de 30 días, presentando reducción de la demanda química de oxígeno a los 20 días de 84.4% y 54.2%, respectivamente. Se proyectó una producción de 3.12 y 2.56 m<sup>3</sup> /día para las diluciones 70:30 y 80:20, respectivamente, con la utilización de los desechos de la sala de espera y de comederos de la unidad. Con un volumen de fase líquida de 50.48 m<sup>3</sup> para los biodigestores proyectados, se obtiene ahorros en energía de 5,931 y 4,856 kWh/año, equivalente a US \$ 872 y US \$ 714/año, para las relaciones 70:30 y 80:20, respectivamente. El sistema suplirá el 6.11% y 5% de los requerimientos anuales de energía.

Citando el aporte del trabajo monográfico para optar por el título de Especialista en Gestión Ambiental el autor Carbajal, (2020) El propósito de este trabajo consiste en evaluar tecnologías de tratamiento de residuos sólidos orgánicos generados por el ganado lechero para la producción de biogás como una alternativa económica para las familias.

Este biogás puede ser aprovechado como fuente de energía para la cocción de los alimentos y otras actividades cotidianas que necesiten de una fuente de energía de este tipo, lo cual, está en congruencia con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 7 “Energía asequible y no contaminante” que tiene como principales metas propuestas, según el plan de las naciones unidas para el desarrollo - pnud2 , a 2030: garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética, entre otras.

Después del análisis de biodigestores se implementó un tipo de biodigestor de estructura flexible, el cual constituye una gran alternativa para ser tomada en cuenta por los campesinos de la región, como una alternativa de aprovechamiento sostenible de los residuos sólidos orgánicos generados durante el proceso productivo que lleven a cabo. Con esta alternativa, además de que se evita el manejo inapropiado de los residuos sólidos inorgánicos, se genera biogás que puede ser usado dentro de la misma finca para otras actividades e incluso, para vender y obtener un ingreso adicional, y se genera abono que puede ser utilizado en el pasto que será alimento del ganado o en otros cultivos que se tengan.

De acuerdo a la monografía de López y Katyuska (2020) El biogás producido por residuos orgánicos a través de la digestión anaeróbica se ha convertido en una solución a problemas energéticos y ambientales de unidades productivas de pequeña y mediana escala. El proyecto busca evaluar el potencial de biometanización que tienen las excretas de ganado bovino y caprino, por medio de un biodigestor a escala real, utilizando los residuos pecuarios producidos por estas especies en la finca La Esperanza, de la vereda Condorito, del municipio de Valledupar Cesar, y determinar si se puede abastecer el consumo diario demandado por una vivienda rural.

### 2.1.2 Antecedentes Nacionales

Vindell, Melgara y Espinoza (2018) realizaron un trabajo investigativo el cual 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, 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.

Toruño Sotelo, Casco Dávila, & Lira Ruiz (2016) Realizaron un estudio de producción de biogás por medio del proceso de digestión anaerobia no controlada a partir de diversos sustratos orgánicos en la Facultad Regional Multidisciplinaria (FAREM–Estelí), II Semestre de 2016”.

Tuvo como objetivo principal Desarrollar un estudio de producción de biogás por medio del proceso de digestión anaerobia no controlada a partir del aprovechamiento y caracterización de diversos sustratos orgánicos, concluyendo de que la caracterización de las propiedades básicas de la materia orgánica utilizada en el estudio realizado mediante modelos lineales generales y mixtos permitió demostrar que, el sustrato orgánico de Caballo y Cerdo son mejores en cuanto a sus sólidos volátiles, esto también quedo demostrado al hacer la prueba de la llama esta encendía rápidamente al acercarle la llama de un cerillo, sin embargo si existen diferencias estadísticamente significativas con el sustrato de gallinaza que en la prueba presento un bajo nivel de volatilidad, de igual forma quedo demostrado en la prueba de la llama el cual necesitaba más tiempo para su combustión.

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

## **2.2 Marco teórico**

### **2.2.1 Biomasa**

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

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

#### **2.2.1.1 Tipos de Biomasa**

Existen diferentes tipos de biomasa las cuales podrían ser aprovechadas para sustentar la necesidad energética de un sistema o instalación. La biomasa suele clasificarse en biomasa primaria y secundaria; la primaria es aquella que se obtiene de un ecosistema natural para su utilización energética y la secundaria también llamada residual, es la obtenida como residuo o subproducto de una actividad humana.

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

### **2.2.1.2 Biomasa residual (seca y húmeda)**

Son los residuos que se generan en la actividad de agrícola leñoso y herbáceo y ganadería en las forestales en la industria maderera y agroalimentaria entre otras y esto todavía puede ser utilizado y considerados subproductos como ejemplo podemos considerar el aserrín la cáscara de almendra el orujillo las podas de frutales etc (Nogués, Rezeau, & García, 2010).

### **2.2.1.3 Biomasa residual húmeda**

Es aquella con alto contenido de humedad y que, por su procedencia y composición, permite que la materia orgánica sea fácilmente degradable mediante procesos bioquímicos. Las principales fuentes son los residuos ganaderos como purines (excremento y orina); los residuos urbanos, como las partes orgánicas de la basura o las aguas residuales (Nogués, García-Galindo, & Rezeau, 2010), también se denomina biomasa residual húmeda a los vertidos llamados biodegradables es decir las aguas residuales urbanas e industriales y los residuos ganaderos principalmente vacunos y bovinos al igual residuos lácteos.

### **2.2.1.4. Biomasa residual agrícola**

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

## **2.2.2 Residuo forestal**

Es la que se produce en la naturaleza sin ninguna intervención humana el problema que presenta este tipo de biomasa es que se hace necesaria la gestión de la adquisición y transporte del recurso para su utilización, esto puede provocar que la explotación de esta biomasa sea inviable económicamente.

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

### **2.2.2.1 Residuos sólidos**

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

### **2.2.2.2 Cultivos energéticos**

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

### **2.2.2.3 Biocarburantes**

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

### **2.2.2.4 Residuos orgánicos biodegradables**

Los desechos agroindustriales comprenden un amplio conjunto de residuos orgánicos biodegradables, los cuales pueden ser clasificados en dos tipos generales: residuos de frutas o plantas y residuos provenientes de animales (estiércoles y purines). Los cambios socioeconómicos de las últimas décadas, orientados a la concentración poblacional en núcleos urbanos establecidos, el desarrollo sectorizado de la industria agroalimentaria así como la intensificación de las actividades de índole agrícola y ganadera, entre otros, han propiciado la gran producción periódica de residuos orgánicos biodegradables, los cuales requieren de un manejo específico para evitar la generación de problemas ambientales que a la postre se reflejan en la salud pública y el deterioro de los ecosistemas naturales ( Carbajal, 2020).

### **2.2.2.5 Residuos ganaderos**

Están formados por la acumulación de deyecciones sólidas y líquidas producidas en las explotaciones ganaderas. El uso eficiente de estos residuos sin que se produzcan daños en el medio, especialmente de los líquidos, es objetivo prioritario de muchos investigadores (Doroteo, 2006).

#### **Estiércol**

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

El estiércol es el excremento de animales de ganadería, el cual se compone de una mezcla de material orgánico digerido y orina, que es utilizada para fertilizar el suelo (Duran, 2003)

La aplicación del estiércol en el suelo permite el aporte de nutrientes, incrementa la retención de la humedad, y mejora la actividad biológica, con lo cual se incrementa la fertilidad del suelo y por ende su productividad (Duran, 2003).

Las características de estos materiales están en función de: especie, raza, alimentación del ganado y época del año. Las cantidades que se producen dependen del tipo de explotación, puesto que no serán las mismas las originadas en un establo de vacas que en una granja de aves.

#### **Gallinaza**

De todos estos residuos, los avícolas merecen una cierta atención por sus especiales características. Están compuestos por deyecciones de aves de corral junto con el material usado en las camas y cal en pequeña proporción (si esta es utilizada sobre el piso para mantener unas condiciones sanitarias permisibles en los corrales). Cada ave, proporciona heces diarias aproximadamente correspondientes al 5 % de su peso corporal, además, debemos indicar que este material posee un elevado potencial de generación de energía si se fermenta en condiciones anaerobias con producción de biogás como así lo indican. Las gallinazas suelen ser relativamente ricas en nitrógeno y tener una buena relación C/N y C/P.

En el caso de no usar cal sobre el suelo de los corrales, o explotaciones avícolas, su pH suele ser ácido (Duran Ramires, 2003).

#### **2.2.2.6 Sector ganadero**

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

El sector ganadero genera más gases de efecto invernadero, los cuales al ser medidos en su equivalente en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) son más altos que los del sector del transporte.

La ganadería no sólo amenaza al medio ambiente, sino que también es una de las principales causas de la degradación del suelo y de los recursos hídricos. El sector ganadero es responsable del 9 por ciento del CO<sub>2</sub> procedente de las actividades humanas, pero produce un porcentaje mucho más elevado de los gases de efecto invernadero más perjudiciales.

Genera el 65% del óxido nitroso de origen humano, que tiene 296 veces el Potencial de Calentamiento Global (GWP, por sus siglas en inglés) del CO<sub>2</sub>. La mayor parte de este gas procede del estiércol, señalan los expertos (Rosales , Gerber, & Castel, 2009).

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

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

#### **2.2.2.7 Ventajas y desventajas del estiércol**

- **Desventajas del estiércol**

La principal desventaja es que existe gran acumulación del excremento por la intensiva actividad ganadera en las zonas rurales y su inadecuada disposición final, lo que produce

impactos al ambiente, como la proliferación de enfermedades que afectan al ganado y las personas dedicadas a estas actividades.

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

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

Si se desea utilizar el estiércol como abonos orgánicos, los ganaderos necesitan tener conocimientos, como también de maquinaria para realizar los volteos del material y producir un compost de gran calidad (Duran, 2003).

- **Ventajas del estiércol**

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

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

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

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

#### **2.2.2.8 Composición del estiércol**

El estiércol no es un abono de composición fija. Esta depende de la edad de los animales, de la especie, de la alimentación a que están sometidas, trabajo que realizan, aptitud, naturaleza y composición, etc. Un animal joven consume mayor cantidad de nitrógeno y fósforo que un animal viejo; las deyecciones que de aquel proceden contienen, pues, menor cantidad de esos elementos. Los animales viejos habiendo cesado de crecer, asimilan los alimentos

únicamente las cantidades necesarias para cubrir las pérdidas y dan estiércoles más ricos en elementos fertilizantes (Perrez, 2003).

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

**Tabla 1. Composición de estiércol. (sociedad Española, Agricultura y ecología , s.f.)**

Composición (%)	Vaca	Oveja	Gallinaza	Caballo	Cerdo (purín)
Materia seca	23,00	25,00	22,00	25,00	5,20
Materia orgánica	66,28	64,08	64,71	65,84	68,27
Nitrógeno (N)	1,84	2,54	1,74	1,52	4,28
Fosforo (P)	1,73	1,19	4,18	2,14	5,96
Potasio (K)	3,10	2,83	3,79	2,98	5,17
Calcio (Ca)	3,74	7,76	8,90	2,79	4,04
Magnesio (Mgo)	1,08	1,51	2,90	0,97	0,96

### 2.2.2.9 Fuentes de la biomasa

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

**Granjas o fincas:** Estiércol y orín de ganado (vacuno, porcino, equino, aves, etc.)

**Residuos de vegetales:** Beneficio de café, cascara de diversos vegetales, etc., residuos de algodón, fibras de coco y hojas de árboles.

**Ciudades y poblados:** Excremento y orín humano, residuos sólidos municipales orgánicos

**Industrias:** Industria de bebida, piscicultura, industria de papel, Industria alimenticia

### Características energéticas de la biomasa

El contenido energético de la biomasa se mide en función del poder calorífico del recurso, aunque para algunos de ellos como es el caso de la biomasa residual húmeda y los

biocarburantes se determinan en función del poder calorífico del producto energético obtenido en su tratamiento ( Garrido, 2007).

#### **2.2.2.10 Formas de generar energía a partir de la biomasa**

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

1. La quema genera vapor capaz de mover una turbina, que a partir de un generador produce energía eléctrica.
2. La extracción y transformación se produce a partir de la extracción del aceite o alcohol de algunos cultivos tales como el sorgo, el trigo, la soja.
3. La descomposición se produce a partir del gas metano y se lo conoce como biogás.

### **2.2.3 Derivados de la Biomasa**

#### **2.2.3.1 Biocombustibles**

Se denomina biocombustible a todo combustible procedente de la biomasa, cuando un biocombustible se utiliza en un motor de explosión se le denomina biocarburantes (el combustible líquido o gaseoso para transporte producido a partir de la biomasa) (Bernardo Bejerano, 2007).

#### **2.2.3.2 Tipos de combustibles**

**Bioetanol:** es un biocombustible de origen vegetal que se produce a partir de la fermentación de materia orgánica rica en azúcar (caña, remolacha o vino), así como de la transformación en azúcar del almidón presente en los cereales. Se utiliza en motores de explosión como aditivo o sustitutivo de la gasolina. La producción de bioetanol se basa en un proceso bien conocido: la fermentación alcohólica (Bernardo Bejerano, 2007).

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

**Bioetanol:** Metanol producido a partir de la biomasa, para uso como biocarburante;

**Biodimetiléter:** dimetiléter producido a partir de la biomasa, para su uso como biocarburante;

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

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

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

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

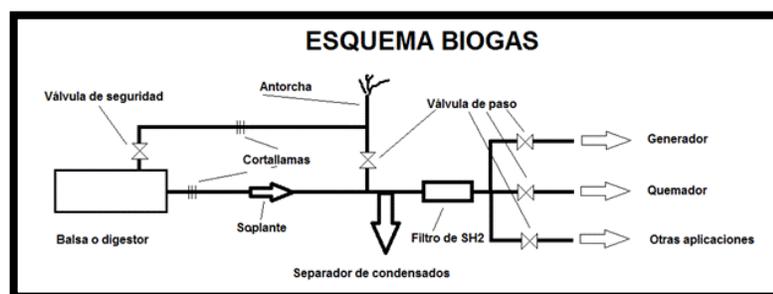
**Bioqueroseno:** - Fracción ligera procedente de la destilación de biodiesel obtenido por **transesterificación:** Uso en mezclas con queroseno hasta el 20% para uso en motores aviación;

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

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

## 2.2.4 Biogás

Es una mezcla gaseosa formada principalmente del metano y dióxido de carbono, pero también contiene diversas impurezas, la composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. Cuando el biogás tiene un contenido de metano superior a 45% es inflamable (Moreno, 2011).



*Figura 1. Esquema del Biogás (Hilbert, 2007).*

**Tabla 2. Características generales del biogás (Moreno, 2011).**

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

#### 2.2.4.2 Composición del biogás

En la tabla número podemos apreciar detalladamente la composición del biogás y el porcentaje de cada componente según (Bermúdez & Arcia., 2015).

**Tabla 3. Composición del biogás (Hilbert, J.A, 2007)**

<b>Composicion del biogas</b>	
<b>Componente</b>	<b>Porcentaje %</b>
Metano	54-70%
Bioxido de carbono (CO2)	27-45%
Nitrogeno (N2)	0.5-3%
Hidrogeno (H2)	1-10%
Acido Sulfhidrico (H2S)	0.10%

## **2.2.5 Descomposición anaerobia**

La descomposición anaerobia (en ausencia total de oxígeno o nitratos) de la materia orgánica produce un gas combustible. Este gas contiene una alta proporción en metano ( $\text{CH}_4$  en concentración superior al 60 % en el gas), con una potencia calorífica inferior del orden de 5.500 Kcal/m<sup>3</sup>, y se designa usualmente como biogás. Todo proceso de digestión anaerobia lleva parejo una eliminación/depuración de la carga orgánica y la producción de este gas. Las instalaciones especialmente diseñadas para optimizar este proceso se designan como “digestores de metano”, “plantas de biogás” o simplemente “reactores anaerobios” ( Garrido, 2007)

Este tipo de fermentación, anaerobia con producción de metano, no es más que un tipo de fermentación catalizada por bacterias específicas y de la cual se tienen primeras noticias según (Volta, 1776) quien descubrió la formación de un gas combustible sobre pantanos, lagos y aguas estancadas, y que relacionó con la cantidad de materia orgánica depositada en su fondo. No fue hasta 1868 en que se definió las reacciones como constituyentes de un proceso microbiológico.

Mediante el proceso de digestión anaerobia puede tratarse un gran número de residuos:

Residuos agrícolas y ganaderos

Lodos de depuradoras biológicas

Residuos industriales orgánicos

Aguas residuales municipales e industriales

Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos dice ( Garrido, 2007).

### **2.2.5.1 Fases de la fermentación anaerobia**

La digestión anaerobia está caracterizada por la existencia de tres fases diferenciadas en el proceso de degradación del sustrato (término genérico para designar, en general, el alimento de los microorganismos), interviniendo diversas poblaciones de bacterias.

La naturaleza y la composición química del sustrato condicionan la composición cualitativa de la población bacteriana de cada etapa, de manera que se establece un equilibrio fácilmente

alterable cuando algún tóxico no permite el desarrollo de alguna de las poblaciones. Mientras que en las fases de hidrólisis-acido génesis 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 acido génicas. Esto significa que si las bacterias metano génicas tienen algún problema para reproducirse y consumir los ácidos, estos se acumularán, empeorando las condiciones para las bacterias metano génicas, responsables de la producción de metano ( Garrido, 2007).

### **2.2.5.2 Procesos de la descomposición anaeróbica**

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

#### **La hidrólisis**

La hidrólisis es un tipo de reacción química que se puede llegar a dar entre moléculas o iones tanto inorgánicos como orgánicos. La característica principal que tiene la hidrólisis es que involucra la participación del agua para que se puedan romper los enlaces. Partículas y moléculas complejas (proteínas, carbohidratos y lípidos) que son hidrolizadas por enzimas extracelulares producidas por los microorganismos acido génicos o fermentativos. Etapa fermentativa o acido génica, durante esta etapa tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metano génicas (acético, fórmico, 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 (Portillo, 2020).

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

## **Acidogénesis**

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

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

## **Acetogénesis**

En esta etapa las bacterias acetogénicas interactúan con las Archaeas metano génicas colaborando entre sí, a fin de transformar los ácidos grasos resultantes en los sustratos propios de la metalogénesis (Portillo, 2020).

## **Metanogénico**

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

Los microorganismos metano génicos pueden ser considerados como los más importantes dentro del consorcio de microorganismos anaerobios, ya que son los responsables de la formación de metano y de la eliminación del medio de los productos de los grupos anteriores, siendo, además, los que dan nombre al proceso general de biometanización.

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

Se ha demostrado que un 70% del metano producido en los reactores anaeróbicos se forma a partir de la descarboxilación de ácido acético, a pesar de que, mientras todos los organismos metano génicos son capaces de utilizar el H<sub>2</sub> como aceptor de electrones, sólo dos géneros pueden utilizar acetato (Speece, 1983)..

### **2.2.6 Tipo de materia prima**

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

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

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

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

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

Como norma se deberá tomar en cuenta que a raíz de estar trabajando en un medio biológico sólo los promedios estadísticos de una serie prolongada de mediciones serán confiables siempre y cuando figuren las condiciones en las cuales fueron realizadas las pruebas. En

cuanto al volumen de estiércol producido por las distintas especies animales son variables de acuerdo fundamentalmente al peso y al tipo de alimentación y manejo de los mismos. Cuando se encare un proyecto específico se recomienda realizar una serie de mediciones en el lugar donde se emplazará el digestor.

### **2.2.6.1 Temperatura**

En el desarrollo de cualquier proceso bioquímico, la temperatura es uno de los parámetros ambientales más importantes ya que mejora o inhibe a grupos microbianos específicos, esto debido a que las actividades implican reacciones enzimáticas, donde las enzimas son complejos moleculares sensibles a la temperatura. Otra razón son los diferentes tiempos de activación de los grupos bacterianos durante el curso de la digestión, ya que cada uno de estos grupos, tiene una temperatura óptima en donde se puede estabilizar su tasa de crecimiento celular máximo. En el caso del tratamiento anaerobio de lodos, la temperatura del proceso determina la rapidez y el grado de avance de la digestión anaerobia (Gallert, Bauer, & Winter, 1998)

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

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

El rango mesofílico es el más utilizado, pese a que el termofónico presenta ciertas ventajas, como la mayor rapidez, la higienización del residuo, eliminación de larvas, semillas de malas hierbas, organismos patógenos, mayor hidrólisis de partículas (Gallert, Bauer, & Winter, 1998).

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

- Una fermentación más rápida.
- Eliminación de casi un 100% de virus y bacterias patógenas.
- Separación solido-liquido más rápidamente.
- Disminución de la viscosidad de la solución.

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

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

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

(Speece, 1983), es considerada uno de los principales parámetros de diseño, debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de digestión anaeróbica.

#### **2.2.6.2 Valor de acides (PH)**

El pH se define como una medida de la concentración de hidrógeno expresado en términos logarítmicos. Los valores del pH se reducen a medida que la concentración de los iones de hidrógeno incrementa, variando entre un rango de 0 a 14. Los valores por debajo 7.0 son ácidos, valores superiores a 7.0 son alcalinos y/o básicos, mientras que los que rondan 7.0 son denominados neutros (Meza García, 2011).

Existen varios métodos para medir el valor del pH, dentro de los más destacados se encuentran: papel tornasol o tiras medidoras, pH metro digital, gotas indicadoras o rojo fenol, entre otros.

Citando el siguiente estudio monográfico (Guarda Puebla, 2012), el pH es una importante variable para la fase de hidrólisis-acidificación, los valores de PH inferiores a 5 afectan considerablemente la producción de los ácidos orgánicos, siendo los valores cercanos a pH 6 los más adecuados para obtener altos niveles de esos compuestos en esta fase. Coincide en afirmar que el pH tiene una influencia importante en la digestión anaerobia ya que afecta la solubilización de materias orgánicas.

El máximo rendimiento de metano se ha observado manteniendo un pH entre 6,8 y 7.2. Microorganismos hidrogenantes y ácido génicos prefieren valores dentro del rango de 5.5 y 6.5. Sin embargo, el pH óptimo para el microorganismo metano génico está cerca 7.0, y las reacciones anaeróbicas son altamente dependientes del pH, siendo el rango óptimo para las bacterias metano génicas entre 6.8 a 7.2. Este trabajo afirma que las condiciones óptimas para la producción de metano a partir de mucílago de café son pH 8.2 y concentración de azúcar 27 gL<sup>-1</sup>.

### **2.2.6.3 Composición de la materia orgánica**

La fermentación los microorganismos metano génico 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:

#### **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 (Bidlingmaier, 2006).

#### **Sólidos totales**

Materia orgánica sin humedad, es decir, el peso de la materia seca que queda después del secado como se indicó antes. El sólido total suele ser equivalente al peso en seco (sin embargo, si se secan los materiales al sol, es de suponer que aun contendrán, cerca del 30% de humedad). El sólido total incluye componentes digeribles o “sólidos volátiles” y residuos no digeribles o “sólidos fijos” (Bidlingmaier, 2006).

#### **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) (Bidlingmaier, 2006).

#### **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 (Bidlingmaier, 2006).

## **2.2.7 Biodigestor**

Los biodigestores conocidos también como plantas (productoras o de producción) de biogás, son recintos o tanques cerrados donde la materia orgánica y el agua residual permanecen un periodo de tiempo para lograr su descomposición produciendo biogás y bio abono (Nogués, Rezeau, & García, 2010).

Los biodigestores son dispositivos que bien gestionados e implementados permiten realizar usos de material de desechos que puede ser aprovechado de manera eficaz por lo tanto el Biodigestor “es un sistema sencillo de conseguir y solventar la problemática energética ambiental, así como realizar un adecuado manejo de los residuos tanto humanos como animales.

Biodigestores 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 bio abono aproximadamente en un periodo según (Dávila, Lira, & Rugama, 2018).

### **2.2.7.1 Tanque digestor**

Este tanque se encuentra cerrado de manera hermética. Su apariencia es alargada y se construye debajo del nivel del suelo para conseguir un aislamiento térmico adecuado.

### **2.2.7.2 Almacenamiento y sistema de gas**

Es una tubería que se une a la zona superior del tanque digestor y que traslada al tanque del almacenamiento de gas. Debe tener una válvula de paso y una válvula de seguridad que conecte después a la válvula de paso. Debe introducir en la válvula de seguridad de lana de acero para destruir el ácido sulfhídrico que se origina en el digestor y daña el metal de los artefactos que usan el gas. El tanque de almacenamiento puede ser de bolsa de caucho.

### 2.2.7.3 Tanques de carga

Es el ducto por el cual va a ser alimentado el Biodigestor y está construido de ladrillo común y su superficie interna lleva un aplanado de cemento la alimentación se prepara en el tanque de carga y se introduce al Biodigestor por la parte inferior a través de un tubo de PVC dirigido hacia la línea central del tanque.

### 2.2.7.4 Partes de un biodigestor

**Válvula:** Se utilizan mínimo dos válvulas para gas la primera o principal ira instalada inmediatamente al comienzo de la conducción y sobre él ni ple de salida, la segunda se monta al final de la línea en el lugar de uso.

Estás válvulas cuyo tamaño debe ser compatible con el diámetro de la tubería deberán estar construidas en acero inoxidable o en PVC para evitar la corrosión por el ácido sulfhídrico.

**Trampas.** El gas debe ser purificado antes del uso la purificación en los casos en que el uso se reduce a calefacción alumbrado oclusión de alimento tiene por objeto eliminar o disminuir el contenido de ácido sulfúrico para proteger la corrupción los equipos y de la reducción de contenido de agua presente en el gas como resultado.

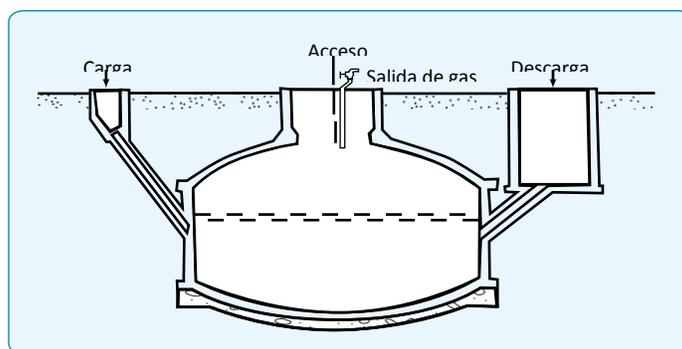
**Trampas de agua:** El agua arrastrada por el agua se secara cuando la corriente encuentre en su trayectoria una sección brusca y una contracción posterior para lograr este propósito será suficiente instalar sobre la línea o accesorios idéntico a la trampa de sulfhídrico con la diferencia de que no se necesita el relleno de material de hierro dice (Noguéz, García-Galindo, & Rezeau, 2010).

## 2.2.8 Principales digestores en el medio rural

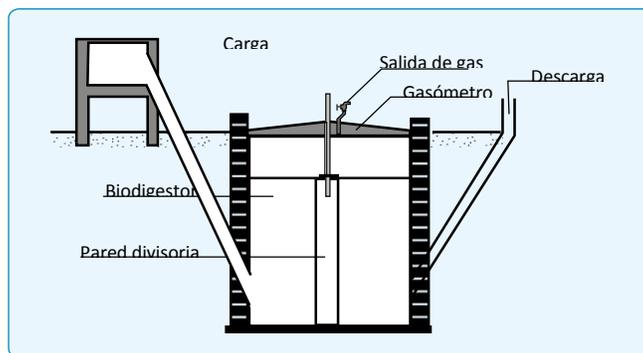
### 2.2.8.1 Modelo Chino

Los digestores de este tipo son tanques cilíndricos con el techo y el piso en forma de domo y se construyen totalmente enterrados (FAO, 1986).

Al iniciar el proceso, el digestor se llena con residuos agrícolas compostados mezclados con lodos activos de otro digestor, a través de la cubierta superior, que es removible. Una vez cargado así, es alimentado diariamente con los residuos que se encuentren disponibles, provenientes de la letrina y de los animales domésticos, a través del tubo de carga el cual llega a la parte media del digestor.



**Figura 2. Biodigestor tipo chino (Meza García, 2011)**



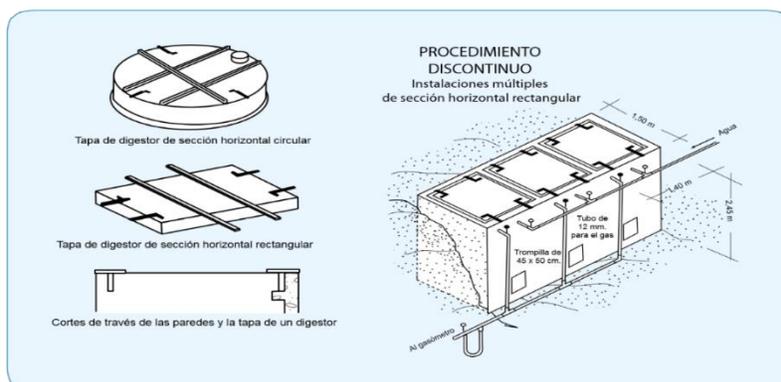
**Figura 3. Biodigestor tipo Indiano. (Moreno, 2011)**

### 2.2.8.2 Modelo Indiano

Estos digestores en general son enterrados y verticales, semejando a un pozo. Se cargan por gravedad una vez al día, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se mantienen las condiciones de operación (Hilbert y Eppel, 2007) (Moreno, 2011).

### 2.2.8.3 Biodigestores Horizontales

Estos digestores se construyen generalmente enterrados, son poco profundos y alargados, semejando un canal, con relaciones de largo a ancho de 5:1 hasta 8:1 y sección transversal circular, cuadrada o en “V”. Se operan a régimen semi continuo, entrando la carga por un extremo del digestor y saliendo los lodos por el extremo opuesto. La cúpula puede ser rígida o de algún material flexible que no presente fugas de gas y que resista las condiciones de la intemperie (Moreno, 2011).



*Figura 4. Biodigestor tipo Horizontales (Moreno, 2011)*

### 2.2.8.4 Digestor Batch (discontinuo o régimen estacionario)

Este tipo consiste en una batería de tanques o depósitos herméticos (digestores) con una salida de gas conectada con un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás (Mandujano et al, 1981).

El objetivo de disponer de más un digestor es tener siempre uno de ellos en carga o en descarga, mientras el resto se encuentra en producción de biogás.

La alimentación o carga del digestor con la materia prima, sólida, seca, se realiza por lotes (discontinuamente) y la carga de los residuos estabilizados se efectúa una vez que ha finalizado la producción de biogás.

Este sistema discontinuo es aplicable en situaciones particulares, como sería la de materias primas que presentan problemas de manejo en un sistema semi continuo y continuo, o materiales difíciles de digerir metano génicamente o cuando las materias primas a procesar, están disponibles en forma intermitente, como es el caso de los rastrojos de cosecha.

Está destinado a pequeñas y grandes explotaciones agropecuarias, su uso a escala doméstica es poco práctico.

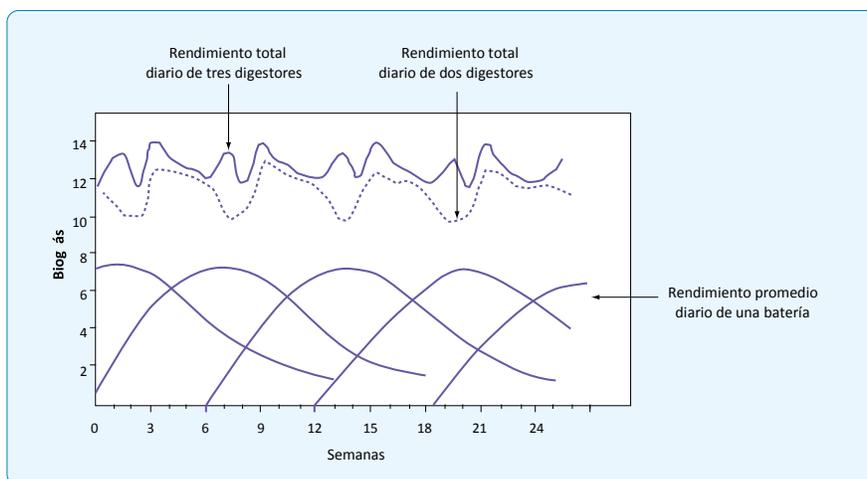
Ventajas del digestor discontinuo.

1. Ocupa menor volumen de digestor por volumen de biogás producido, debido a la alta concentración de materia seca en el sustrato (40 – 60%).
2. Ocupa de 60 – 80% menos de agua que los digestores continuos y semi continuos.
3. No forma costra ni necesita agitación diaria.
4. No sufre cambios de temperaturas violentos.

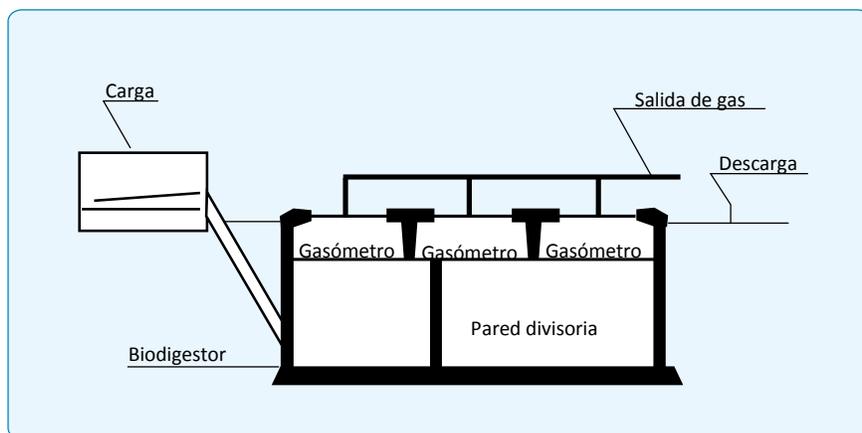
Ocupa menos mano de obra, ya que no necesita carga diaria, sino cada 2 o 3 meses

5. La mayor parte del bioabono se obtiene en forma sólida, siendo más fácil de esparcir en la preparación de suelos.
6. La corrosión de las tapas de los digestores es menor, debido a que éstas están insertas en un sello de agua.
7. No requiere de cuidados especiales que pueda causar accidentes en la fermentación anaeróbica.

Se puede construir sobre el suelo o semi enterrado. Es ideal para localidades de nivel freático superficial o terreno en rocas.



**Figura 5. Producción de biogás en sistemas discontinuos o batch (Moreno, 2011).**



**Figura 6. Biodigestor discontinuo o batch (Moreno, 2011)**

### **2.2.9 Codigestión anaerobia**

La falta de estabilidad en los factores que influyen en el proceso de digestión, pueden provocar su colapso. Frecuentemente, la problemática reside en un inadecuado balance de nutrientes y las características fisicoquímicas del sustrato empleado. Para solucionar este problema, una diversidad de autores ha propuesto la codigestión de diferentes sustratos (Varnero, 2011; Devesa et al., 2014; Sosnowski et al., 2003) (martinez, lópez, & rodriguez, 2020).

#### **2.2.9.1 Objetivos de la Codigestión anaerobia**

La codigestión consiste en el tratamiento conjunto de residuos orgánicos diferentes con los objetivos de:

Aprovechar la complementariedad de la composición de los residuos, logrando de este modo que la mezcla de ambos tipos de residuos dé lugar a procesos más estables y ocurra un incremento considerable en la producción de biogás;

Compartir instalaciones de tratamiento y unificar metodologías de gestión, ya que permite integrar en una sola instalación, el tratamiento de dos o más residuos con una metodología

que ha resultado exitosa, la cual amortigua las variaciones temporales en producción y composición de cada residuo por separado.

### **2.2.9.2 Influencia de la codigestión en la producción de biogás**

Aprovechando la complementariedad de la composición de los residuos, la mezcla de ambos tipos de residuos da lugar a procesos más estables y con un incremento considerable de la producción de biogás. Por ejemplo, la producción de 10-20 m<sup>3</sup>biogás/T en una DA de un solo sustrato con residuos ganaderos se podría duplicar incorporando un 20-30% de residuos alimentarios. Sin embargo, los RSU e industriales suelen contener altas concentraciones de materia orgánica fácilmente degradable, por lo que presentan un mayor potencial de producción de biogás que los residuos ganaderos dice (martinez, lópez, & rodriguez, 2020).

## 2.3 Hipótesis

La empresa ASOPASN en la comunidad la Garnacha, del municipio de San Nicolas produce abundantes cantidades de lactosuero, excretas de vacuno y caprino que permiten disponer de un alto potencial energético para la implementación de un Biodigestor tipo tubular para la producción de biogás que cubra sus necesidades de biogás para cocción de alimentos.

## **Capítulo 3**

### **3.1 Diseño metodológico**

#### **3.1.1 Tipo de estudio**

En cuanto al enfoque filosófico, por el uso de instrumentos de recolección de la información, análisis y vinculación de datos, el presente estudio se realizará mediante un enfoque cuantitativo de investigación (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

Según el tiempo de ocurrencia de los hechos y registros de la información este estudio es prospectivo debido a que los hechos se registrarán a medida que ocurren los procesos de investigación (Pineda, Alvarado y Canales, 1994); de acuerdo al nivel de profundidad de conocimiento es descriptivo porque son aquellos que están dirigidos a describir la situación de las variables que se estudian en una población.

De acuerdo (Pedroza, 1993), el método de investigación es experimental debido a que se caracterizan por la introducción y manipulación del factor causal o de riesgo para la determinación posterior del efecto; Según el análisis y alcance de los resultados el estudio es analítico porque pretenden descubrir una hipotética relación entre algún factor de riesgo y un determinado efecto, es decir, pretenden establecer una relación causal entre dos fenómenos naturales (Veiga de Cabo, De la Fuente Díez y Zimmermann Verdejo, 2008).

## 3.2 Área de estudio

### 3.2.1 Ubicación geográfica

La presente investigación se realizó en la comunidad La Garnacha, municipio San Nicolás, específicamente en La empresa ASOPASN que actualmente procesa derivados de la leche de vaca y cabra, entre estos: queso, crema en diferentes presentaciones.



*Figura 7. Foto tomada de Google Maps*

### 3.2.2 Área de conocimiento

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

## 3.3 Población y muestra

Tamayo y Tamayo (2003), define el universo como un conjunto o la totalidad de un grupo de elementos, casos u objetos que se quiere investigar. En esta investigación se trata de la evaluación de tres sustratos orgánicos en combinación: lacto suero excretas de vacuno y caprino.

Dado que esta investigación se realiza por el método experimental la muestra representativa se circunscribe al espacio inferencial representativo que le corresponde definido por el

número de repeticiones y el número de tratamientos, de los cuales contó con *tres repeticiones* para la caracterización de los sustratos y tres *tratamientos en comparación*: vacuno caprino y lacto suero, por tanto, la muestra fue de cuatro.

*Las unidades experimentales* (material receptor, al cual se aplican los tratamientos en un solo ensayo) fueron cuatro biodigestores tipo Batch, los cuales se cargaron tres veces en rango mesofílico de temperatura. Este principio está basado en la función de distribución de probabilidad de la Prueba de Fisher, que se define en el escenario de las muestras pequeñas donde “n” debe ser igual o menor de 30.

### 3.4 Matriz de operación de variables

**Objetivo general:** Evaluar los residuos orgánicos para la producción de biogás en la empresa ASOPASN, en la comunidad La Garnacha, San Nicolas departamento de Estelí durante el Periodo de septiembre-diciembre en el año 2021

Objetivos	Variables	Indicador	Técnicas de Recolección de datos
<p>Evaluar las propiedades fisicoquímicas de las excretas de ganado y caprino como materia orgánica biodegradable.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Masa húmeda</li> <li>2. Masa seca</li> <li>3. Sólidos volátiles</li> <li>4. Cenizas</li> <li>5. Relación Carbono/Nitrógeno</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cantidad de agua presente en la muestra</li> <li>2. Peso de la materia que queda después del primer sometimiento al horno a 105°</li> <li>3. Porción de sólidos totales que se libera de una muestra.</li> <li>4. Peso de la materia seca que queda después del quemado.</li> <li>5. Permite conocer la capacidad mineralizadora del residuo sólido en procesos de recuperación y aprovechamiento de la materia orgánica.</li> </ol>	<p>Experimento de laboratorio</p>

<p>Determinar la producción de biogás generado en un biodigestor a escala de laboratorio a partir de los residuos orgánicos sometidos a codigestión anaerobia no controlada.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Producción de biogás generado</li> <li>2. Tiempo de retención</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Litros de biogás producidos</li> <li>2. Tiempo en que inicia a degradarse la materia orgánica</li> </ol>	<p>Experimento de laboratorio</p>
<p>Determinar la correlación entre la temperatura y la producción de biogás que se obtiene en el proceso biológico anaeróbico no controlado.</p>	<p>Temperatura</p> <p>Producción de biogás</p>	<p>Grados Celsius al que fueron sometidos las unidades experimentales</p> <p>Cantidad de biogás producidos por los reactores</p>	<p>Experimento de laboratorio</p>
<p>Dimensionar un Biodigestor de acuerdo a criterios de dimensionado que permitan la selección de la tecnología apropiada mediante la metodología de una matriz de enfrentamiento que permita cubrir la demanda energética en ASOPANS.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cantidad de biomasa</li> <li>2. Cantidad de mezcla de agua</li> <li>3. Dimensiones del biodigestor</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cantidad de estiércol Vacuno y caprino para alimentar un biodigestor</li> <li>2. Caudal orgánico</li> <li>3. Medidas de la fosa del biodigestor</li> </ol>	<p>Guía de observación</p> <p>Formatos de registro de cálculos</p>

### **3.5 Métodos, técnicas e instrumentos para la recolección de datos e información**

#### **Implementación de métodos cuantitativos**

La técnica que se utilizó en la recolección de datos fue la observación puesto que nos permite hacer un registro visual de lo que ocurre en una situación real, clasificando y consignando los acontecimientos pertinentes de acuerdo con algún esquema previsto y según el problema que se estudia, generalmente se observaron características y condiciones de funcionamiento de los biodigestores y los factores que influyen en el proceso de codigestion anaerobia no controlada.

Se utilizaron formatos de registro de la información elaborados previamente en el programa informático Excel, que sirvieron para el registro de las variables cuantitativas discretas y continuas. Luego se diseñó una base de datos en Infostat en la que se realizó las pruebas estadísticas pertinentes.

### 3.6 Procedimientos para la recolección de datos e Información

El procedimiento que se siguió para la recolección de los datos e información se presentan de acuerdo con cada uno de los objetivos planteados en esta investigación.

#### **Propiedades fisicoquímicas de los sustratos Caprino y Vacuno**

El procedimiento a seguir fue de acuerdo a la metodología utilizada por (Reyes, 2019)

Primeramente, se realizó la selección del sustrato. Este se escogió tomando en cuenta los siguientes criterios:

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

Se eligió sustrato para la producción de biogás los residuos orgánicos de lactosuero, excretos de vacuno y caprino que se generan en la empresa ASOPASN ubicada en la comunidad La Garnacha. El lacto suero se obtuvo de los desechos del proceso de producción de quesos y cremas, además las muestras de excretas de ganado y cabras propiedad de la asociación

Esta etapa se realizó mediante una técnica gravimétrica utilizando una balanza analítica, para el pesaje de los sustratos orgánicos. Posteriormente se introducen en un horno, en capsulas de porcelana, a una temperatura de 115°C durante 17 horas durante un tiempo determinado.



*Figura 8. Pesaje de las muestras*



*Figura 9. Muestras a 115 grados*



*Figura 10. Muestra Sacada del Horno*

Posteriormente, las muestras son sacadas del horno hasta alcanzar la temperatura ambiente y seguidamente se aplicó el proceso de pesado en la balanza analítica para conocer el porcentaje de humedad y masa seca respectivamente, el aumento de peso sobre el peso del crisol vacío representa la cantidad de sólidos totales o masa seca del sustrato.

Para llevar a cabo la determinación de los Sólidos Volátiles (SV), se calcinó el residuo seco procedente de la determinación de ST hasta peso constante en un horno de mufla a una temperatura de 550°C durante 4 horas. Concluido este proceso 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. La disminución de peso del crisol tras la incineración del residuo seco (ST), representa el contenido en SV.

También, se calculó el porcentaje de Carbono Orgánico (CO) a partir de los porcentajes de materia orgánica (Sólidos Volátiles). El porcentaje de CO se obtuvo mediante la siguiente ecuación

$$CO(\%) = \frac{MO}{1,8}$$

Dónde: 1.8= factor de conversión

Se estimó el contenido de nitrógeno considerando que el contenido de este elemento forma 5 % de la materia orgánica (Reyes Aguilera 2019).

### **Determinar la producción de biogás**

El procedimiento a seguir fue de acuerdo a la metodología utilizada (Reyes, 2019)

Esta etapa consistió en la construcción de las unidades experimentales que consta de biodigestores con capacidad de 1 litro. Una vez construidos los biodigestores, se procedió a la recolección de los sustratos orgánicos.

Para cargar los reactores tipo Batch de materia orgánica, se procedió a aplicar las relaciones de (sustrato agua) con valores específicos que se determinaron una vez iniciada la fase experimental. Se aplicó la relación 2:1, es decir por cada 2 kilogramos de sustrato, un litro de agua potable, se mezclaron y agitaron en un recipiente para lograr homogeneidad. Los reactores tienen capacidad de 1 litro, se utilizó el 75% para la cámara líquida y el 25% para cámara gaseosa.

La cantidad de biogás se cuantificó aplicando una técnica volumétrica que se basa en el desplazamiento de líquido. Para la realización de esta prueba se usaron instrumentos de laboratorio tales como: base soporte, nuez doble, y una probeta graduada de 250 ml.

Este método consiste en introducir la probeta en un recipiente con agua y dentro de ésta se coloca la manguera de salida del gas hasta la parte superior. La presión del gas hace que el nivel del agua en la probeta se desplace hacia abajo, por lo tanto, se mide la cantidad de biogás obtenida en cada uno de los sustratos.



***Figuras 11. Análisis de cuatro muestras***

Se Determino la producción de biogás mediante ensayos experimentales en unidades de análisis de reactores tipo Batch, Los cuales diarios presentaban desplazamiento del nivel del agua en las probetas, se realizaron tres pruebas.

### 3.7 Plan de tabulación y análisis estadístico

A partir de los datos que fueron recolectados, se diseñó la base de datos correspondientes, utilizando el software estadístico Infostat, versión 2019 para Windows. Una vez que se realizó el control de calidad de los datos registrados, se realizaron los análisis estadísticos pertinentes.

Así mismo, se realizó los análisis inferenciales específicos o prueba de hipótesis, de acuerdo con el compromiso establecido en los objetivos específicos, relacionado con el Análisis de Varianza Univariada (ANOVA de Fisher) y el test de Fisher (prueba de LSD). El procedimiento estadístico fue realizado de acuerdo con Pedroza & Dicovski (2006).

Con los datos obtenidos en el proceso de recolección de la información se realizaron los Análisis de la Varianza (ANOVA), mediante el cual se probaron las hipótesis referidas a los parámetros de posición (esperanza) de dos o más distribuciones. La hipótesis que se someten a prueba, generalmente se establecen con respecto a las medias de las poblaciones en estudio o de cada uno de los tratamientos evaluados en un experimento (Reyes, 2019).

Antes de realizar el ANOVA, se hizo el diagnóstico de la normalidad, homogeneidad e independencia de residuos. Para tal efecto, se obtuvieron previamente las variables RDUO de las variables y PRED. A partir de los residuos y sus transformaciones se verificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad, diagnóstico de la normalidad, homogeneidad e independencia de residuos y homogeneidad de varianzas.

## Capítulo 4

### 4.1 Resultados y discusión

#### 4.1.1 Evaluar las propiedades fisicoquímicas de las excretas de Vacuno y caprino como materia orgánica biodegradable.

*Tabla 4. Análisis de la Varianza para la variable % Masa húmeda*

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	2730.67	2	1365.33	74.93	0.0001
Tratamientos	2730.67	2	1365.33	74.93	0.0001
Error	109.33	6	18.22		
Total	2840.00	8			

*Tabla 5. Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=8.52851*

<b>Tratamientos</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	<b>F</b>
Caprino	36.00	3	2.46	A
Vacuno + Caprino	57.33	3	2.46	B
Vacuno	78.67	3	2.46	C

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

Existe un efecto significativo de los tratamientos, sobre la variable % de Masa húmeda, lo que se evidencia con un  $p = 0,0001$ , que resultó ser menor que el nivel crítico de comparación  $\alpha = 0.05$ . Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de igualdad de medias de tratamientos de  $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_n$ . Esto quiere decir que la respuesta estadística es significativa, lo cual demostró que existe una relación de causa-efecto de los tratamientos (Caprino, Vacuno + caprino, Vacuno), sobre la variable % de Masa húmeda.

Cuando se rechaza la hipótesis nula del ANOVA podemos concluir que existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre al menos dos de las medias poblacionales en evaluación, por lo tanto se realizó posterior al ANOVA, la prueba de comparaciones múltiples de medias o prueba LSD Fisher (Diferencia Mínima Significativa), con un Alfa = 0.05, permitió demostrar que, los sustratos de Caprino, Vacuno + caprino, Vacuno, tienen diferencias estadísticas entre sí, con respecto a la variable dependiente % de Masa húmeda, para la cual las medias muestrales, ordenadas en forma ascendente, muestran que el sustrato de caprino tiene el menor porcentaje de masa húmeda con 36%, le sigue el Vacuno + caprino con

57.33%) y el Vacuno es el de mayor porcentaje de masa húmeda de los sustratos comparados con 78.67%.

Los resultados obtenidos de humedad en el caso de bovino son muy similares con el porcentaje de humedad reportado por Monteros, Durand, Mora, & Santos (2017) que fue de 82%.

**Tabla 6. Análisis de la Varianza para la variable % Masa seca**

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	2730.67	2	1365.33	74.93	0.0001
Tratamientos	2730.67	2	1365.33	74.93	0.0001
Error	109.33	6	18.22		
Total	2840.00	8			

**Tabla 7. Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=8.52851**

<b>Tratamientos</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	<b>F</b>
Vacuno	21.33	3	2.46	A
Vacuno + Caprino	42.67	3	2.46	B
Caprino	64.00	3	2.46	C

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

Existe un efecto significativo de los tratamientos, sobre la variable % Masa seca, lo que se evidencia con un  $p = 0,0001$ , que resultó ser menor que el nivel crítico de comparación  $\alpha = 0.05$ . Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de igualdad de medias de tratamientos de  $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_n$ . Esto quiere decir que la respuesta estadística es significativa, lo cual demostró que existe una relación de causa-efecto de los tratamientos (Caprino, Vacuno + caprino, Vacuno), sobre la variable % de Masa seca.

Cuando se rechaza la hipótesis nula del ANOVA se concluye que existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre al menos dos de las medias poblacionales en evaluación, por lo tanto se realizó posterior al ANOVA, la prueba de comparaciones múltiples de medias o prueba LSD Fisher (Diferencia Mínima Significativa), con un Alfa = 0.05, permitió demostrar que, los sustratos de Caprino, Vacuno + caprino, Vacuno, tienen diferencias estadísticas entre sí, con respecto a la variable dependiente % de Masa seca, para la cual las medias muestrales, ordenadas en forma ascendente, muestran que el sustrato de Vacuno tiene

el menor porcentaje de Masa seca con 21.33%, le sigue el Vacuno + caprino con 42.67%, ) y el Caprino es el de mayor porcentaje de Masa seca de los sustratos comparados con 64%.

**Tabla 8. Análisis de la Varianza para la variable % Cenizas**

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	206.89	2	103.44	2.17	0.1954
Tratamientos	206.89	2	103.44	2.17	0.1954
Error	286.00	6	47.67		
Total	492.89	8			

**Tabla 9. Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=13.79368**

<b>Tratamientos</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	<b>F</b>
Caprino	27.33	3	3.99	A
Vacuno + Caprino	27.33	3	3.99	A
Vacuno	37.67	3	3.99	A

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

Existe un efecto no significativo de los tratamientos, sobre la variable % de Cenizas, lo que se evidencia con un  $p = 0,1954$ , que resultó ser mayor que el nivel crítico de comparación  $\alpha = 0.05$ . Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula de igualdad de medias de tratamientos de  $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_n$ . Esto quiere decir que la respuesta estadística es no significativa, lo cual demostró que no existe una relación de causa-efecto de los tratamientos (Caprino, Vacuno + caprino, Vacuno), sobre la variable % de Cenizas.

Cuando se acepta la hipótesis nula del ANOVA podemos concluir que no existen diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las medias poblacionales en evaluación, por lo tanto se realizó posterior al ANOVA, la prueba de comparaciones múltiples de medias o prueba LSD Fisher (Diferencia Mínima Significativa), con un Alfa = 0.05, permitió demostrar que, los sustratos de Caprino, Vacuno + caprino, Vacuno, no tienen diferencias estadísticas entre sí, con respecto a la variable dependiente % de Cenizas, para la cual las medias muestrales, ordenadas en forma ascendente, muestran que los sustratos Caprino, Vacuno + caprino tienen un porcentaje igual a 27% de Cenizas y el Vacuno de 37%, estos datos coinciden con lo reportado por (Varnero et. al 1990) quien encontró 26.40% para Caprino y 19.66%.

Es probable plantearse porque no es significativa la diferencia entre el Caprino y Vacuno ya que sus medias muestrales difieren en  $37-27=10\%$ . La respuesta pasa por considerar la magnitud del Cuadrado Medio del Error del ANOVA, que es parte del cálculo del estadístico Diferencia Mínima Significativa (DMS), parece que las diferencias entre estas medias son de la magnitud de las diferencias dentro de tratamiento. Las DMS que declara a dos medias poblacionales como significativamente diferentes si la diferencias entre las medias muestrales es menor ( $DMS= 13.79368$ ).

**Tabla 10. Análisis de la Varianza para la variable % Sólidos volátiles**

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	440.22	2	220.11	4.13	0.0746
Tratamientos	440.22	2	220.11	4.13	0.0746
Error	320.00	6	53.33		
Total	760.22	8			

**Tabla 11. Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=14.59056**

<b>Tratamientos</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	<b>F</b>
Caprino	49.76	3	4.22	A
Vacuno	56.67	3	4.22	B
Vacuno + Caprino	71.67	3	4.22	B

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

Existe un efecto no significativo de los tratamientos, sobre la variable % de Sólidos volátiles, lo que se evidencia con un  $p = 0.0746$ , que resultó ser mayor que el nivel crítico de comparación  $\alpha = 0.05$ . Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula de igualdad de medias de tratamientos de  $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_n$ . Esto quiere decir que la respuesta estadística es no significativa, lo cual demostró que no existe una relación de causa-efecto de los tratamientos (Caprino, Vacuno + caprino, Vacuno), sobre la variable % de % de Sólidos volátiles.

Posterior al ANOVA, se realizó la prueba de rangos múltiples o prueba LSD Fisher (Diferencia Mínima Significativa), con un Alfa = 0.05, esta permitió demostrar que, los sustratos de Caprino, Vacuno + caprino, Vacuno, tienen diferencias estadísticas entre sí, con respecto a la variable dependiente % de Sólidos volátiles, para la cual se obtuvo un valor promedio máximo de 71.67 para el sustrato de Vacuno + caprino y un valor mínimo de 49.76

para el sustrato de Caprino. Por lo tanto, se recomienda usar el estiércol en codigestión el sustrato de Vacuno + caprino por contener mayor % de Sólidos volátiles.

Los sólidos volátiles, es la fracción de la materia orgánica capaz de volatilizarse (transformarse en biogás). Los valores de estos, encontrados en la presente investigación según perfil de medias, coinciden con lo reportado por (Toruño et al., 2016) y (Reyes, 2019).

**Tabla 12. Análisis de la Varianza para la variable %Carbono**

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	460.22	2	230.11	690.33	0.0001
Tratamientos	460.22	2	230.11	690.33	0.0001
Error	2.00	6	0.33		
Total	462.22	8			

**Tabla 13. Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.15349**

<b>Tratamientos</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	<b>F</b>
Caprino	39.33	3	0.33	A
Vacuno	24.67	3	0.33	A
Vacuno + Caprino	39.67	3	0.33	B

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

Existe un efecto significativo de los tratamientos, sobre la variable Carbono, lo que se evidencia con un  $p = 0,0001$ , que resultó ser menor que el nivel crítico de comparación  $\alpha = 0.05$ . Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de igualdad de medias de tratamientos de  $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_n$ . Esto quiere decir que la respuesta estadística es significativa, lo cual demostró que existe una relación de causa-efecto de los tratamientos (Caprino, Vacuno + caprino, Vacuno), sobre la variable Carbono.

Cuando se rechaza la hipótesis nula del ANOVA podemos concluir que existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre al menos dos de las medias poblacionales en evaluación, por lo tanto se realizó posterior al ANOVA, la prueba de comparaciones múltiples de medias o prueba LSD Fisher (Diferencia Mínima Significativa), con un Alfa = 0.05, permitió demostrar que, los sustratos de Caprino, Vacuno + caprino, Vacuno, tienen diferencias estadísticas entre sí, no así entre Vacuno + caprino y Vacuno con respecto a la variable

dependiente Carbono, para la cual las medias muestrales, ordenadas en forma ascendente, muestran que el sustrato de Vacuno + caprino y Vacuno con 24% y el Caprino es el de mayor porcentaje de con 39%, igualmente estos valores están dentro de los rangos establecidos por (Varnero et al., 1990) que reporta 17,4 – 40,6 para vacuno y 35,0 – 50,0 para Caprino.

**Tabla 14. Análisis de la Varianza para la variable Nitrógeno**

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	0.08	2	0.04	13.36	0.0062
Tratamientos	0.08	2	0.04	13.36	0.0062
Error	0.02	6	3.1E-03		
Total	0.10	8			

**Tabla 15. Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.11044**

<b>Tratamientos</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	<b>F</b>
Vacuno	0.78	3	0.03	A
Caprino	0.90	3	0.03	B
Vacuno + Caprino	1.02	3	0.03	C

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

Existe un efecto significativo de los tratamientos, sobre la variable Nitrógeno, lo que se evidencia con un  $p = 0,0062$ , que resultó ser menor que el nivel crítico de comparación  $\alpha = 0.05$ . Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de igualdad de medias de tratamientos de  $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_n$ . Esto quiere decir que la respuesta estadística es significativa, lo cual demostró que existe una relación de causa-efecto de los tratamientos (Caprino, Vacuno + caprino, Vacuno), sobre la variable Nitrógeno.

Cuando se rechaza la hipótesis nula del ANOVA podemos concluir que existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre al menos dos de las medias poblacionales en evaluación, por lo tanto se realizó posterior al ANOVA, la prueba de comparaciones múltiples de medias o prueba LSD Fisher (Diferencia Mínima Significativa), con un Alfa = 0.05, permitió demostrar que, los sustratos tienen diferencias estadísticas entre sí, con respecto a la variable dependiente Nitrógeno, para la cual las medias muestrales, ordenadas en forma ascendente, muestran que el sustrato de Vacuno con 0.78, el Vacuno + caprino con 0.90 y el Caprino es el de mayor contenido de Nitrógeno con 1.02, todos estos valores están dentro de los rangos

establecidos por (Varnero et al., 1990) que reporta 0,3 – 2,0 para vacuno y 1,0 – 2,0 para Caprino.

**Tabla 16. Análisis de la Varianza para la variable Relación Carbono/Nitrógeno**

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	596.22	2	298.11	60.98	0.001
Tratamientos	596.22	2	298.11	60.98	0.001
Error	29.33	6	4.89		
Total	625.56	8			

**Tabla 17. Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=4.41751**

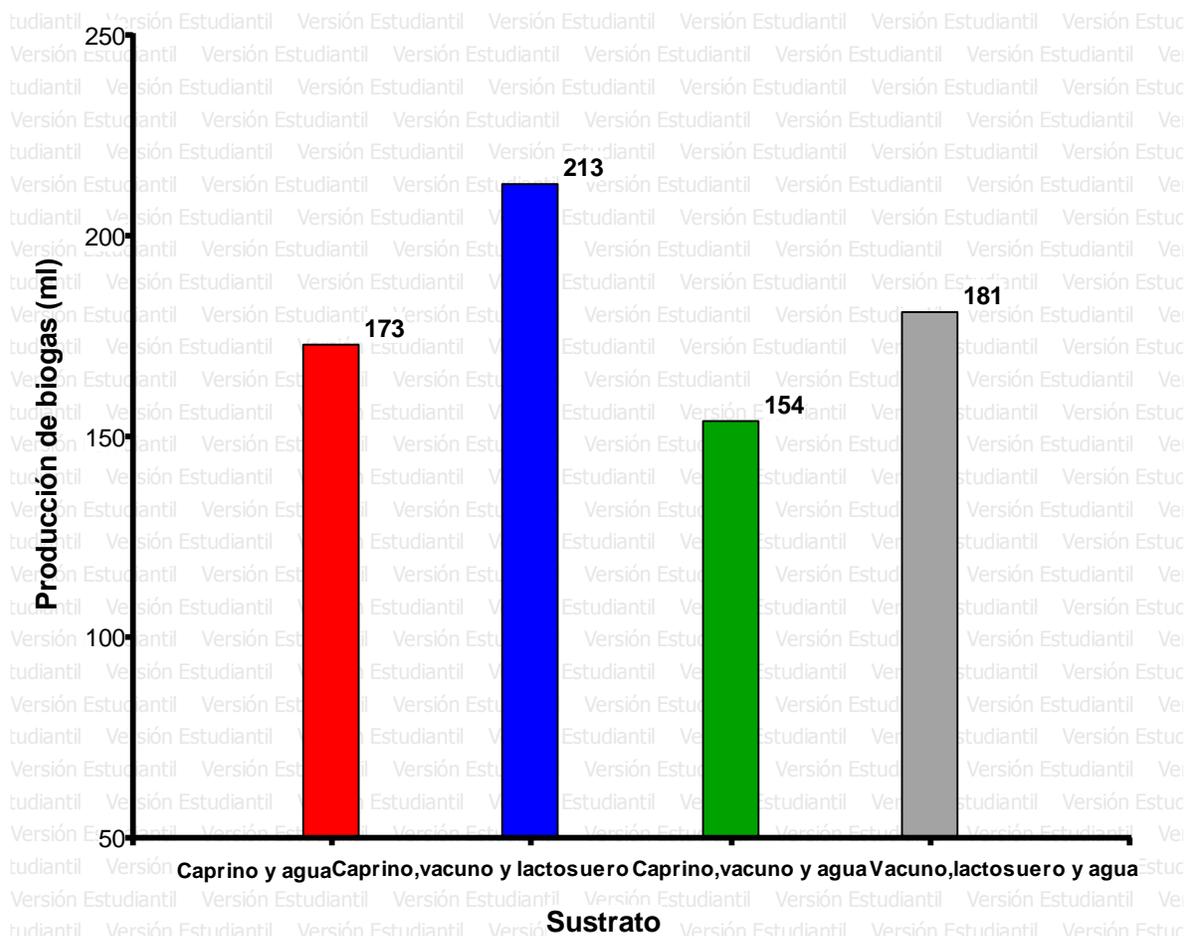
<b>Tratamientos</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	<b>F</b>
Vacuno+ Caprino	24.33	3	1.28	A
Vacuno	31.33	3	1.28	B
Caprino	44.00	3	1.28	C

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

Existe un efecto significativo de los tratamientos, sobre la variable Relación Carbono/Nitrógeno, lo que se evidencia con un  $p = 0,0001$ , que resultó ser menor que el nivel crítico de comparación  $\alpha = 0.05$ . Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de igualdad de medias de tratamientos de  $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_n$ . Esto quiere decir que la respuesta estadística es significativa, lo cual demostró que existe una relación de causa-efecto de los tratamientos (Caprino, Vacuno + caprino, Vacuno), sobre la variable Relación Carbono/Nitrógeno.

Cuando se rechaza la hipótesis nula del ANOVA podemos concluir que existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre al menos dos de las medias poblacionales en evaluación, por lo tanto se realizó posterior al ANOVA, la prueba de comparaciones múltiples de medias o prueba LSD Fisher (Diferencia Mínima Significativa), con un Alfa = 0.05, permitió demostrar que, los sustratos tienen diferencias estadísticas entre sí, con respecto a la variable dependiente Relación Carbono/Nitrógeno, para la cual las medias muestrales, ordenadas en forma ascendente, muestran que el sustrato de Vacuno + caprino con 24.33 Vacuno con 31.33, el y el Caprino es el de mayor Relación Carbono/Nitrógeno con 44. Todos estos valores están dentro del rango reportado por los autores (Gallert, Bauer, & Winter, 1998) y (Varnero et. 1990) que reporta 25:1 para vacuno y 40:1 para Caprino.

**Determinar la producción de biogás generado en un biodigestor a escala de laboratorio a partir de los residuos orgánicos sometidos a codigestión anaerobia.**



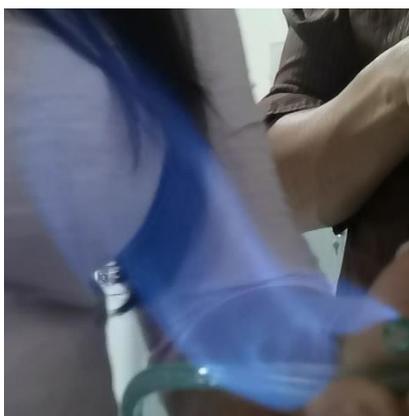
**Figura 12. Producción de biogás**

Los biodigestores en estudio estuvieron sometidos a temperatura ambiente, se realizaron tres replicas por cada sustrato. Las mediciones se realizaron mediante técnica volumétrica de desplazamiento de agua cada 24 horas. Los sustratos utilizados fueron:

1. Caprino y agua a relación de 1:3
2. Caprino, vacuno y lactosuero a relación de 1:3
3. Caprino, vacuno y agua a relación de 1:3
4. Vacuno, lactosuero y agua a relación de 1:3

Como se observa en el grafico el biodigestor cargado con Caprino, vacuno y lactosuero fue el que mayor biogás produjo con 213 ml, seguido del biodigestor cargado en codigestión de vacuno, lactosuero y agua muy similar a lo producido por el biodigestor cargado de Caprino y agua, el biodigestor que produjo menos biogás fue el cargado con Caprino, vacuno y agua.

Se ha obtenido biogás utilizando estiércol de cabras, así como determinar la producción diaria de biogás a nivel laboratorio mediante un control adecuado de las variables involucradas durante el proceso de la digestión anaerobia.

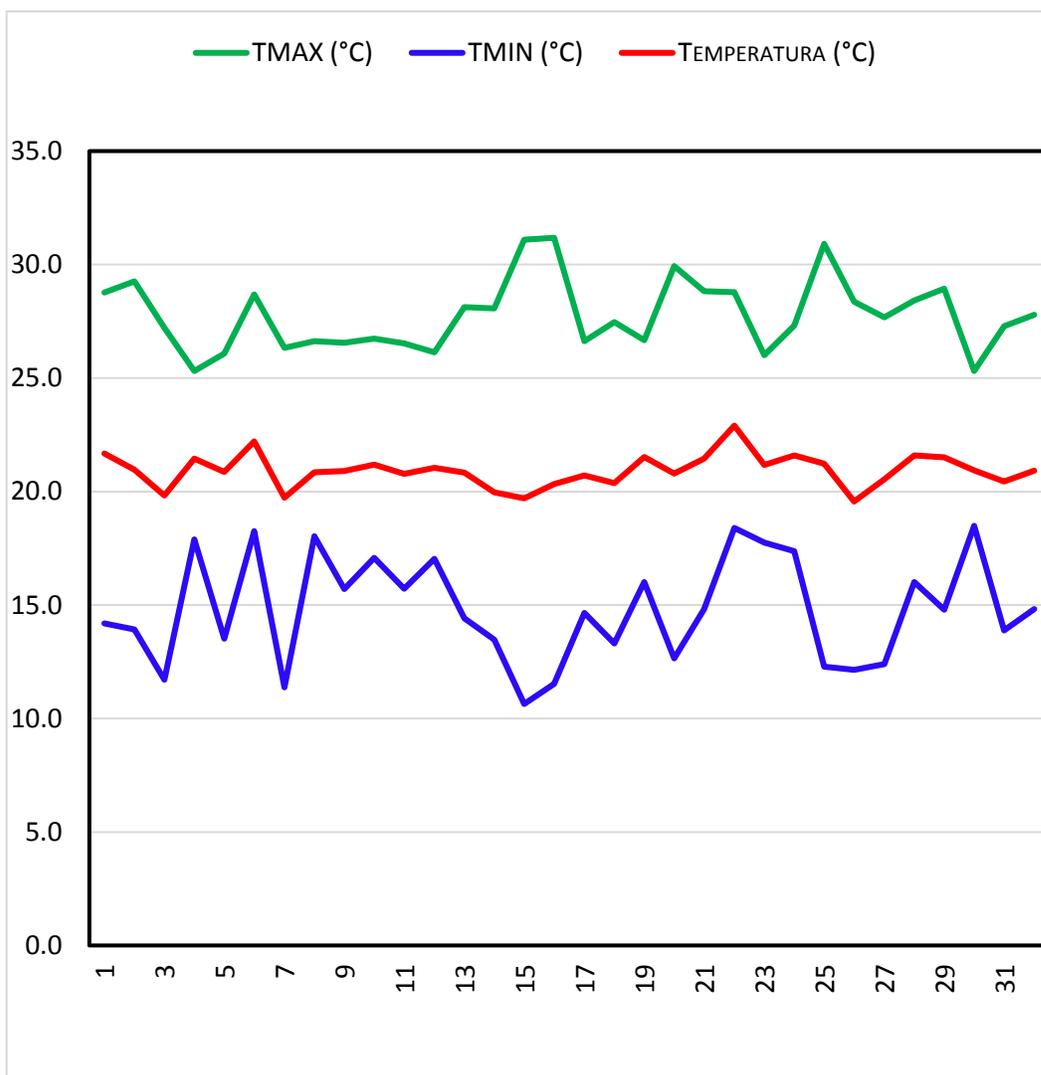


***Figura 13. Llama de biogás de las muestras realizadas***

Se pudo comprobar que el gas generado dentro del biodigestor a escala de laboratorio es un gas flamable (Figura 13) y con olor característico de la mezcla del biogás. Se muestra el momento en que se realiza la prueba de combustión del biogás y de esta manera se verifica producción del metano contenido en el biogás como producto final de la digestión anaerobia del estiércol de cabra.

**Determinar la correlación entre la temperatura y la producción de biogás que se obtiene en el proceso biológico anaeróbico no controlado.**

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



*Figura 14. Temperatura de operación*

Los biodigestores fueron contruidos, cargados y puestos en funcionamiento en el mes de enero, la figura 14 muestra las temperaturas correspondientes a este mes, registradas por la estación meteorologica ubicada en la Estacion Experimental para el Estudio del Tropico Seco El Limon. Se observa que las temperaturas estuvieron en el orden de 20 a 23 grados Celcius, es decir los biodigestores se mantuvieron en regimen mesofilico de temperatura determinado por (Lagrange, 1979).

**Tabla 18. Correlaciones de Pearson, Temperatura y Producción de biogás.**

Variable (1)	Variable (2)	n	Pearson	p-valor
Temperatura	Producción de biogás	18	0.77	0.0200

El análisis de correlación de Pearson realizado para las variables temperatura y producción de biogás, dio como resultado un coeficiente de correlación “r” igual a 0,77, el cual es un valor próximo a 1, indicando que se tiene una fuerte correlación positiva entre las variables. Este fuerte valor del “r” fue obtenido con un  $p = 0,0200$ , el cual resulta ser menor que el nivel crítico de comparación  $\alpha = 0.05$ . Esto quiere decir que la respuesta estadística obtenida es una correlación significativa, por lo que se demostró que existe correlación entre las variables temperatura y producción de biogás. Por lo tanto, se puede argumentar que la producción de biogás, está asociado con la temperatura a la que son sometidos los biodigestores.

El resultado del análisis estadístico que muestra correlación entre la temperatura y la producción de biogás, coincide con la correlación encontrada por (Reyes, 2019).

**Dimensionar un biodigestor de acuerdo a la cantidad de materia prima disponible y las necesidades de combustible en ASOPASN.**

En ASOPASN se dispone de 35 vacas que se pastorean diariamente, y son tabuladas a la noche. Suponiendo un peso por cada vaca de 400 kg, tenemos que las 35 vacas producen diariamente 130 kg de estiércol. Al ser encerradas en corral sólo en la noche, la cantidad de estiércol que se puede recoger es un 25% del total producido a lo largo del día, de manera

que se dispone de 32.5 kg de estiércol para ingresar al biodigestor. Así mismo se producen 55 litros de lactosuero diariamente como residuos del proceso de la leche, la cantidad demandada de gas butano asciende a 4 cilindros de 25 libras mensuales.

**Tabla 18. Dimensionado de producción de materia prima**

	<b>Ganado</b>	<b>Cabras</b>
Cantidad	35	45
Peso aproximado	(400kg)	(70kg)
Estiércol disponible por animal (25%)	32.5 Kg/día	3.3 Kg/día
Total, disponible al día	1140 kg/día	150 kg/día
Total, disponible al día de los dos sustratos	<b>1290 kg/día</b>	

**Tabla 19. Dimensionado de producción de biogás estimado**

Sustratos	Litros de biogás producidos por día por kilo de estiércol fresco cargado diariamente	Tiempo de retención según la temperatura	Temperatura	Mezcla del estiércol 1:3
Ganado	35.3	20	20 - 40	5160 litros
Cabra	18			

Conociendo la carga diaria y el tiempo de retención, el volumen líquido del biodigestor será:

$$VL = \text{Carga diaria} * \text{tiempo retención}$$

$$VL = 5160 \text{ litros} * 20 = 103,200 \text{ litros}$$

De esta forma resulta que el volumen líquido sería 103,200 litros

Asignando una campana de gas que suponga el 25% del Volumen Total, lo que significa un tercio del Volumen Líquido, se tiene:  $VG = VL/3$

Resulta un volumen gaseoso de 34,400 litros. Finalmente, el volumen total será, por tanto, la suma de VL y Vg.

$$VT = VG + VL = 34,400 \text{ litros} + 103,200 \text{ litros} = 137,600 \text{ litros} = \mathbf{137.6m^3}$$

La producción de biogás diario para **1290** kilos de carga de estiércol será según la Tabla 18, Producción de Biogás día (litros) = carga de estiércol (kg) x 35.3

Así se estima que se producirán 45,537 litros de biogás al día. Esto significa que, si el biogás se emplea en una cocina doméstica (130 a 170 litros por hora), se podrá cocinar por 268 horas.

### **Diseño de un biodigestor según necesidades de combustible de ASOPASN**

De acuerdo a información suministrada por personal de ASOPASN el tiempo de uso de la cocina de gas butano es de cuatro horas. Si se sustituye el gas butano por biogás, el tiempo de uso de la cocina será mayor, porque el biogás tiene menor poder calorífico. Por tanto, se estima que habrá que diseñar un biodigestor capaz de producir biogás para cocinar por 5 horas cada día.

Considerando un consumo de 170 litros por hora, tres horas de biogás implican la necesidad de un biodigestor que produzca diariamente 850 litros de biogás. Haciendo uso del “número mágico” de la Tabla 19, se obtiene la cantidad de estiércol de ganado y cabra que se mezclará con agua y suero para cada día producir esos 850 litros de biogás.

$$\text{Carga de estiércol} = 850 \text{ litros} / 35.3 = 24$$

Se obtiene que son necesarios 24 kg de estiércol fresco al día. Por ser ganado vacuno y caprino se realiza una mezcla 1:3 de estiércol con el agua, por lo que todos los días se mezclarán 24 kg de estiércol fresco con 22 litros de agua y 50 litros de lactosuero, dando un total de carga de mezcla diaria de 96 litros. Al estar ASOPANS ubicada en el trópico el tiempo de retención será de 20 días y conociendo la carga de mezcla diaria se obtiene el volumen líquido:

VL = tiempo de retención x 96 litros = 1920 litros

El volumen líquido serán 1,920 litros (1.920 m<sup>3</sup>) que supone tres cuartas partes del volumen total, ya que una parte será para la campana de gas. De esta forma, a la campana de gas se le asigna un volumen de un tercio del volumen líquido resultando en 640 litros de volumen. El volumen total será por tanto de 2,560 litros (2.560 m<sup>3</sup>).

Para las dimensiones del biodigestor de 2.560 m<sup>3</sup>, se realiza una tabla en la que aparecen los anchos de rollo de polietileno tubular disponible en el mercado.

**Tabla 20. Selección de medidas de polietileno tubular**

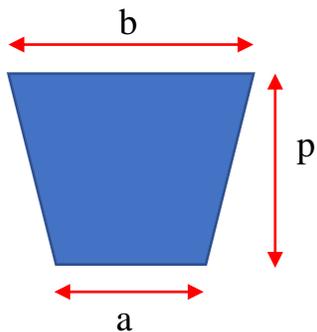
Ancho de rollo (m)	Radio (m)	Diámetro (m)	Sección eficaz ( $\pi \times r^2$ ) (m <sup>2</sup> )	Longitud del biodigestor (Vt/secc. Eficaz) (m)	Relación Longitud / diámetro
1	0.32	0.64	0.32	12	18.9
1.25	0.40	0.80	0.50	7.7	9.7
1.50	0.48	0.96	0.72	5.4	5.6
1.75	0.56	1.12	0.97	3.9	3.5
2	0.64	1.28	1.27	3	2.4

En la tabla se observa cómo existen dos anchos de rollos con los que puede trabajar, ya que tanto el ancho de rollo de 1.50m como el de 1.75 dan una relación entre la longitud del biodigestor y el diámetro entre 3 y 5. La decisión de cual escoger dependerá, principalmente, de dos factores: costo de cada tipo de plástico y disponibilidad de espacio en el terreno de ASOPASN.

### **Dimensiones de la zanja del biodigestor**

El diseño final del biodigestor requiere conocer las dimensiones de la zanja donde se acomodará el plástico tubular. La longitud de la zanja queda determinada por la longitud del biodigestor y la profundidad y ancho de la misma dependerán del ancho de rollo empleado en la construcción del biodigestor.

De forma general, se puede emplear las siguientes dimensiones para la zanja:



Dimensiones de la zanja según el Ancho de Rollo (AR)					
AR (m)	2	1.75	1.5	1.25	1
a(m)	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3
b(m)	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
p(m)	1	0.9	0.8	0.7	0.6

Las dimensiones de la zanja para el caso de escoger el ancho de rollo de 1.5 m para un biodigestor de 5.4 metros de largo serán:

Ancho de rollo de 1.5 m			
A	B	P	L
0.5m	0.7m	0.8m	5.4m

En el caso de escoger un ancho de rollo de 1.75 m el biodigestor tendría una longitud de 3.9 metros y las dimensiones de la zanja serían:

Ancho de rollo de 1.75 m			
A	B	P	L
0.6m	0.8m	0.9m	3.9m

## Capítulo 5

### 5.1 Conclusiones

El análisis de varianza permitió comparar las medias de las variables respuesta con los diferentes tratamientos, y mediante la prueba LSD de Fisher se determinó que existen diferencias significativas entre los tratamientos, Vacuno, Caprino y la mezcla de estos obteniéndose mejores resultados con el tratamiento realizado Vacuno y caprino.

Mediante el análisis de correlación de Pearson se determinaron los coeficientes de correlación entre las variables temperatura y la producción de biogás, el cual permitió determinar que existe una relación muy fuerte entre variables, por lo cual se pudieron comprobar los resultados con la teoría.

Se determinó la producción de biogás generado mediante las pruebas realizadas en los diferentes biodigestores y se obtuvo como resultado que el que mayor biogás produjo fue la muestra #2 Vacuno, caprino y lactosuero con una producción de 213ml por día en comparación a las demás muestras.

Se realizó un dimensionado tomando en cuenta la cantidad de materia disponible en la empresa concluyendo de acuerdo al uso de fórmulas de cálculo la empresa tiene el suficiente potencial en materia prima para una producción total para un biodigestor de 137m<sup>3</sup>. Así mismo se dimensionó un biodigestor conforme a las necesidades de combustible de la empresa.

## 5.2 Recomendaciones

A través de los cálculos realizados y la demanda de producción de la empresa, se recomienda la instalación de un biodigestor anaeróbico tipo tubular de  $8\text{m}^3$ , con capacidad de 8,000 L en fase líquida, para tratar un máximo de 67 litros de excretas diariamente con lo que se podrá producir lo equivalente a  $2.5\text{m}^3$  de biogás al día y 200 L de fertilizantes diario.

Considerar la ampliación del biodigestor para aprovechar el máximo potencial de la materia prima con la que cuenta la empresa con el propósito de cubrir el consumo de gas en el restaurante turístico de la empresa.

En caso que se logre la instalación es importante delegar a una persona con el conocimiento necesario para que le dé tratamiento a la materia prima, al biodigestor y el fertilizante.

Se recomienda aplicar este tipo de proyecto en fincas, áreas rurales por su alto rendimiento en desechos (bio abono), ahorrando energía utilizando biogás, fuente de energía viable, útil, renovable y no contaminante.

El lugar donde será instalado el biodigestor debe estar protegido ante cualquier incidencia que pueda presentarse así también como el acceso al mismo deberá ser privado y exclusivamente del personal que le de mantenimiento.

### 5.3 Bibliografía

- (MEM) (2012-2021). *ESTRATEGIA NACIONAL DE LEÑA Y CARBON VEGETAL DE NICARAGUA (ENLCV),2012-2021*. Managua Nicaragua .
- Aqualimpia Engineering. (2017). *Fases de la digestión anaerobia*. Recuperado el 01 de Agosto de 2019, de <https://www.aqualimpia.com/digestion-anaerobica/>
- Bernardo Bejerano. (2007).
- Bidlingmaier, W. (2006). *probes anaerobic degestion Biocycle journal of composting and organics recyclin*.
- Britto López, Yasuanna Katyuska. (2020). *Areandina* . Obtenido de <https://eresearch.areandina.edu.co/discover/display/n171102>
- Carvajal, N. (2020). *APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS*. Obtenido de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7845/1/233392-2020-1-GA.pdf>
- Duran Ramires, F. (2003). *Manual De Cultivos Orgánicos Y Alelopatia. amazon*.
- Aqualimpia Engineering. (2017). *Fases de la digestión anaerobia*. Recuperado el 01 de Agosto de 2019, de <https://www.aqualimpia.com/digestion-anaerobica/>
- Fannin, K. (1987). *Start up, operation, stability, and controlo in aerobic digestion of biomass*. Recuperado el 15 de agosto de 2020, de <https://www.elsevier.com/search-result?query=start%20up%2C%20operation%2C%20stability%C%20and%20control%20in%20aerobic%20digestion%20of%20biomass&labels>
- Gallert, C., Bauer, S., & Winter, J. (1998). *Effect of ammonia on anaerobic degradation of protein by a mesophilic and thermophilic biowaste population* .
- García Garrido, S. (2009). *Centrales Termoeléctricas de Biomasa*. Madrid: RENOVATEC.
- Garrido, Nuria. (2007). *Modulo7 Energia de la Biomasa*. Catalunya: Catedra UNESCO.

- Guarda Puebla, Y. (2012). *Estudio de la digestión anaerobia en dos fases para el tratamiento de las aguas residuales de despulpe del beneficiado húmedo del café*. Universidad politécnica de Madrid escuela técnica superior de ingenieros. Madrid.
- Guarda Puebla, Yans. (2012). *Estudio de la digestión anaerobia en dos fases para el tratamiento de las aguas residuales de despulpe del beneficiado húmedo del café*. Universidad politécnica de Madrid escuela técnica superior de ingenieros. Madrid.
- Hashimoto, A. G. (1986). *Ammonia inhibition of methanogenesis from cattle wastes*. *Agricultural Waster*.
- Hilbert, J. (2007). *Manual para la producción de biogás*. México DF: Castelar . .
- Hwu, C. H., & Lettinga, G. (1997). *Acute toxicity of oleate to acetate utilizing methamogens in mesophilic and temperature anaerobic sludge*. *Enzyme microbiology technolgt*.
- Jaime, H. M. (2008). *Biodigestores familiares*. Bolivia: Cooperacion Cooperacion Bolivia.
- López Perez, C. (2003). valoración de el estiércol de cerdo a traves de la produccion de biogas. *Fondo Nacional de porcicultura*, 78.
- Mae-Wan, H. (2008). *biogas bonanza for third world development*. Obtenido de <http://www.i.sis.org.uk/BiogasBonanza.php>
- Meza García, M. (2011). *Disturbios del estado ácido-básico en el paciente crítico*.
- Nogués, F., Rezeau, A., & García, D. (2010). *Energia de la biomasa VI*. Zaragoza: Prensas de la univesidad de Zaragoza.
- Noguéz, F. S., García-Galindo, D., & Rezeau, A. (2010). *Energia de la Biomasa( volumen I)*. España: Prensa universitaria de zaragoza.
- Sanabria O, Sanchez A, Rodas Y. (2018). *Trabajos monografico*. Obtenido de <https://repositorio.unan.edu.ni/9367/1/18880.pdf>
- Osorio, J., Ciro, H., & GonzaleZ, H. (2007). *Evaluacion de un sistema de biodigestion en serie para clima frio*.

- Otlca, Juan Carlos Doroteo. (2006). *APROVECHAMIENTO DE BIOGAS PROVENIENTE DEL ABONO DE GANADO VACUNO*. Obtenido de <https://repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/5606/1/Juan%20Carlos%20Doroteo%20Otlca.pdf>
- Pavlostathis, S. G., & Gomez E, G. (1991). Kinetics of anaerobics treatment: a critical review. *Critical reviews in enviromental control*(2), 490.
- Pavlostathis, S. G; Gomez E, Giraldo. (1991). Kinetics of anaerobics treatment: a critical review. *Critical reviews in enviromental control*(2), 490.
- Portillo, German. (29 de Octubre de 2020).
- Ríos, A. G. (Abril de 2007). *MANUAL DE BIOGÁS*. Recuperado el 28 de Octubre de 2016, de <http://www.mbigua.org.ar/uploads/Biogas.pdf>
- Rosales , M., Gerber, P., & Castel, V. (2009). *La larga sombra*.
- Rosas , M., Segalás, J., Dávila, C., Chiroque, J., O. M., Cohelo, J., & Grrido, N. (2011). *Evaluacion de Recursos Energeticos Renovables*. UNESCO de sostenoibilidad de la UPC Y Fundacion politécnica de Cantaluya.
- Rosas , Martí; Segalás, Jordi; Dávila, Celso; Chiroque, José; , Oliver Marcelo; Cohelo, Javier; Grrido, Nuria. (2011). *Evaluacion de Recursos Energeticos Renovables*. UNESCO de sostenoibilidad de la UPC Y Fundacion politécnica de Cantaluya.
- Sociedad Española, Agricultura y ecologia . (s.f.). Obtenido de <https://www.lahuertinadetoni.es/que-nutrientes-aporta-cada-estiercol-a-nuestras-plantas/>
- Speece, R. (1983). *Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatment*. doi:10.1021/es00115a725
- Tamayo, M. (2012). *El Proceso de la Investigación Científic*.
- Toruño Sotelo, L. A., Casco Dávila, D. M., & Lira Ruiz, E. I. (2016). Esteli.
- Valdivia. (2000). Uso de Biogás para la generación de energía eléctrica mediante un motor gasolinero estacionario modificado. Lima, Perú. .

Van Lier, J. B., Hulsbeek, J., Stams, A. J., & Lettinga, G. (1993). *temperature susceptibility of thermophilic methanogenic: implication for reactor start-up and operation.*

Volta, A. (1776). Obtenido de <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/8913/1/UDLA-EC-TIPI-2006-01.pdf>

Zilhgian Ivania Medina Izaguirre, José Alejandro Luna Vega. (Diciembre de 2009). *Trabajo monografico* . Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/414/1/T2864.pdf>

## Anexo A

*Anexo A-1 Lugar donde se fabrica el queso y la crema*



*Anexo A-2 Recolecta de las muestras, en el establo de las cabras.*



*Anexo A-3. preparando las muestras para cargar los biodigestores.*



*Anexo A-4. Midiendo el pH en cada una de las muestras*



*Anexo A-5. Unidades de análisis*



Anexo B – 1 Proforma de biodigestor según la demanda.



**COINICSA**  
Consultoría e Ingeniería de Nicaragua, SA

REPRESENTANTE SISTEMABIO NICARAGUA  
Km 129 ½, Carretera Norte, antigua entrada a Tipitapa  
300mts.al Sur, , Managua, Nicaragua  
Tel. + (505) CL-86341092; MOV-85523567

Propuesta económica para el suministro, de un paquete tecnológico Sistema Biobolsa modelo Sistema 8 m3 con capacidad de 8,000 L en fase líquida, para tratar un máximo de 67 Litros de excretas diariamente, con lo que se podrá producir lo equivalente a 2.5 m3 de Biogás al día y 200 litros de Biofertilizantes todos los días para fertilizar un promedio de 10 mz por año.

### COTIZACION

Organización: ASOPANS  
Atención: Emely

Mezcla: 3 porciones de agua por 1 de estiércol  
Estiércol Procesado: Procesamiento de entre 60 y 70 litros de estiércol diario (2.5 bidones de 20lts.)  
Carga licial: 700 litros de Estiércol y 4,800 litros de agua  
Biogas Producido: 2.5 m3 (La cocina utiliza 450 litros de Biogas por hora cada quemador)  
Uso del Gas: Cocina o Calor calentamiento de agua  
Biol Producido: 200 lts por día  
Fertilización disponible 10 Mz por año

FECHA	CANTIDAD	PRODUCTO	PRECIO VENTA	IVA	PRECIO TOTAL
25/03/2022	1	Sistema 8m <sup>3</sup>	1,218.00	182.70	1,400.70

El Paquete Tecnológico Biobolsa incluye:

- Reactor(es) anaeróbico(s) en geomembrana LLDPE de 1.5 mm espesor.
- Registro de ingreso de 200 litros y tina para efluente de 900 litros

Nota: - Accesorios: Línea de gas, filtro para reducción de H<sub>2</sub>S, válvula de alivio de presión, dos trampas de agua.  
- Geotextil protector  
- Guía de usuario y Garantía prorrateada en 10 años.

a) Esta cotización tiene vigencia de 30 días.

b) La entrega se realiza inmediatamente después de haber recibido anticipo del 20% previo acuerdo con el cliente, 40% a la instalación del Sistema y 40% a los 30 días previa visita de

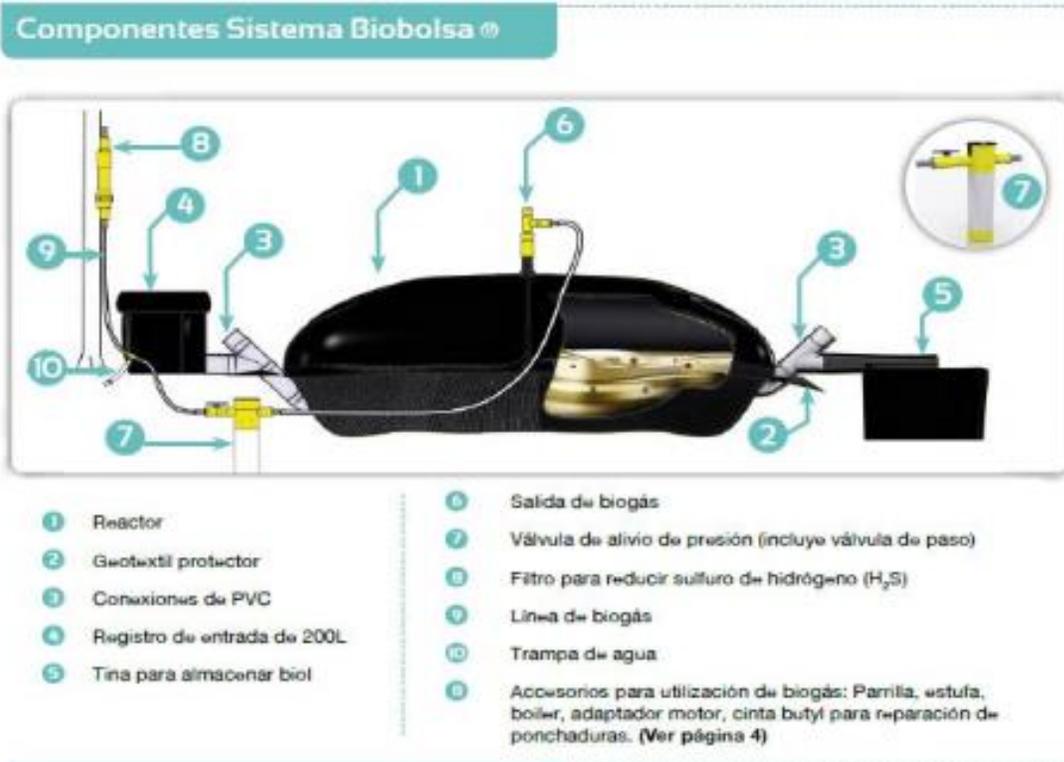
Condiciones: ajustes y pruebas de biogás.

c) Este Suministro NO incluye: Instalación, drenajes, estructura y techumbre protectora o cualquier otra cosa que no se menciona aquí, el cliente se encarga de la excavación.

d) Incluye Cocina Modelo Araña para Biogás.

Pago a Nombre de: ROLANDO REYES LEIVA a la cuenta en U\$ BANCENTRO NICARAGUA **109250531**

Anexo B - 2 Esquema de funcionamiento según la proforma.



Anexo B – 3 Tabla de valores de dimensionamiento según la necesidad del cliente



## Tabla de dimensionamiento

BOVINOS en clima cálido (>23° C)								
Modelo (Biobolsa)	Sólidos de estiércol (L/día)	Cabezas semi estabulado	Prod. de Biogás (m3/día)*	Prod. de Biogás (horas/día)**	Prod. de Biogás Equiv. en Gas LP (kg/mes)	Con moto-generador (kWh/día)	Prod. de Biot (ha/año)	Prod. de Biot (L/día)
BB4-t	30	3	1.2	2	14	2.4	4	120
BB4	36	4	1.4	3	17	2.9	5	144
BB6	52	5	2.1	4	25	4.2	7	208
BB8	85	9	3.4	7	41	6.8	12	340
BB10	97	10	3.9	8	47	7.8	14	388
BB12	109	11	4.4	9	52	8.7	15	436
BB14	125	12	5.0	10	60	10.0	17	499
BB16	170	17	6.8	14	82	13.6	24	680
BB20	194	19	7.8	16	93	15.5	27	776
BB25	219	22	8.8	18	105	17.5	31	876
BB30	267	27	10.7	21	128	21.4	37	1068
BB40	364	36	14.6	29	175	29.1	51	1456
BB50	437	44	17.5	35	210	35.0	61	1748
BB60	534	53	21.4	43	256	42.7	75	2136
BB80	729	73	29.2	58	350	58.3	102	2916
BB120	1093	109	43.7	87	525	87.4	153	4372
BB160	1457	146	58.3	117	699	116.6	204	5828
BB200	1821	182	72.8	146	874	145.7	255	7284

Anexo C – 1 Tabla para recolección de datos.

Tipo de sustratos	Tiempo Inicial	105°C	Hora Inicio	Masa Seca (g)	Hora Final	$\%Mh(Mrh\% = Mh / Mb * (100))$	Tiempo Final	550°C	Hora Inicial	Hora final
	Muestra	Masa Bruta $Mb = (Mh + Ms)$	Masa Humeda (g)		$\%Ms(Ms\% = Ms / Mb * (100))$		Cenizas (g)	$Msv = (Ms - Mc)$	$\%Cenizas(Mrc\% = Mc / Ms * 100)$	$\%solidos Volatiles (Mrsv\% = Msv / Ms * (100))$
Vacuno	Muestra 1									
Caprino	Muestra 2									
Mezcla	Muestra 3									
Vacuno	Muestra 4									
Caprino	Muestra 5									
Mezcla	Muestra 6									
Vacuno	Muestra 7									
Caprino	Muestra 8									
Mezcla	Muestra 9									