



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS**  
**NATURALES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**Título:**

---

**“ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL BIOGÁS GENERADO POR EL  
BIODIGESTOR SOLAR CITIES, EN EL CAMPUS CEASA, PERÍODO 2021-2022”**

---

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del título de Ingenieros en Medio Ambiente

**Autores:**

Moposita Baño Ángel Adrián

**Tutor:**

Agreda Oña José Luis Ing. MSc

**LATACUNGA – ECUADOR**

Abril 2022

**DECLARACIÓN DE AUTORIA**

Erika Nicole Andrade Estévez, con cédula de ciudadanía No. 1726873894; y, Ángel Adrián Moposita Baño, con cédula de ciudadanía No. 1804365474; declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “Análisis de la eficiencia del biogás generado por el biodigestor Solar Cities en el campus CEASA, Período 2021-2022”, siendo el Ing. MSc. José Luis Agreda Oña, Tutor del presente trabajo; y, eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 12 de abril del 2022

Erika Nicole Andrade Estévez  
Estudiante  
CC: 1726873894

Ángel Adrián Moposita Baño  
Estudiante  
CC: 1804365474

Ing. José Luis Agreda Oña MSc  
Docente Tutor  
CC: 0401332101

**CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR**

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **ANDRADE ESTEVEZ ERIKA NICOLE**, identificada con cédula de ciudadanía **1726873894** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, el Ingeniero PhD. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.** - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “Análisis de la eficiencia del biogás generado por el biodigestor Solar Cities en el campus CEASA, Período 2021-2022”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

#### **Historial Académico**

Inicio de la carrera: Abril 2018 - Agosto 2018

Finalización de la carrera: Octubre 2021 – Marzo 2022

Aprobación en Consejo Directivo. - 7 de enero del 2022

Tutor: Ing. MSc. José Luis Agreda Oña

Tema: “Análisis de la eficiencia del biogás generado por el biodigestor Solar Cities en el campus CEASA, Período 2021-2022”

**CLÁUSULA SEGUNDA.** - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA.** - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

**CLÁUSULA QUINTA.** - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.** - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.** - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

**CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.** - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.** - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 12 días del mes de abril del 2022.

Erika Nicole Andrade Estévez  
**LA CEDENTE**

Ing. PhD Cristian Tinajero Jiménez  
**LA CESIONARIA**

### **CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR**

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **MOPOSITA BAÑO ANGEL ADRIAN**, identificado con cédula de ciudadanía **1804365474** de estado civil viudo, a quien en lo sucesivo se denominará **EL**

**CEDENTE;** y, de otra parte, el Ingeniero PhD. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “Análisis de la eficiencia del biogás generado por el biodigestor Solar Cities en el campus CEASA, Período 2021-2022”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

#### **Historial Académico**

Inicio de la carrera: Abril 2017 - Agosto 2017

Finalización de la carrera: Octubre 2021 – Marzo 2022

Aprobación en Consejo Directivo: 7 de enero del 2022

Tutor: Ing. MSc. José Luis Agreda Oña

Tema: “Análisis de la eficiencia del biogás generado por el biodigestor Solar Cities en el campus CEASA, Período 2021-2022”

**CLÁUSULA SEGUNDA. - LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA. -** Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los

siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- f) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- g) La publicación del trabajo de grado.
- h) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- i) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- j) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

**CLÁUSULA QUINTA.** - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.** - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.** - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

**CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.** - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.** - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 12 días del mes de abril del 2022.

Ángel Adrián Moposita Baño  
**EL CEDENTE**

Ing. PhD Cristian Tinajero Jiménez  
**LA CESIONARIA**

**AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el título:

**“ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL BIOGÁS GENERADO POR EL BIODIGESTOR SOLAR CITIES, EN EL CAMPUS CEASA, PERÍODO 2021-2022”**, de Andrade Estévez Erika Nicole y Moposita Baño Ángel Adrián, de la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también han incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

Latacunga, 12 de abril del 2022

Ing. MSc. José Luis Agreda Oña

**DOCENTE TUTOR**

CC: 0401332101

## **AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi;

y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, los postulantes: Andrade Estévez Erika Nicole y Moposita Baño Ángel Adrián, con el título del Proyecto de Investigación: **“ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL BIOGÁS GENERADO POR EL BIODIGESTOR SOLAR CITIES EN EL CAMPUS CEASA, PERÍODO 2021-2022”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 12 de abril del 2022

Lector 1 (Presidente)  
Lcd. Jaime René Lema Pillalaza  
CC: 1713759932

Lector 2  
Ing. MSc. Joseline Luisa Ruiz Depablos  
CC: 1758739062

Lector 3  
Ing. PhD. Mercy Lucila Ilbay Yupa  
CC: 0604147900

## **AGRADECIMIENTO**

Debo agradecer en primer lugar a Dios, por permitirme vivir este momento, que desde pequeña soñé, obtener mi título universitario, sin su guía y amor no habría sido posible.

A mi hija, que ha sido mi motivación, empuje y ganas, desde el inicio de este nuestro sueño, Te Amo. Gracias por compartirme tu luz, en los momentos oscuros.

A mis padres Carmita Estévez y Wilson Andrade porque siempre lucharon por mi bienestar, he sido testigo de sus sacrificios y hoy por fin su sueño y el mío se ve consolidado. Los amo.

A mis hermanas y familia que han seguido paso a paso mi vida y han sido fundamentales para la realización de este sueño. A mis amigos pues definitivamente sin su amistad y apoyo esto no hubiera sido posible.

A mi querida Universidad y a mis docentes que han formado no solo mis conocimientos académicos sino también mi humanidad. Gracias infinitas.

**Erika Nicole Andrade Estévez**

## **AGRADECIMIENTO**

Antes que nada, doy gracias a Dios por permitirme llegar hasta este momento de mi vida, siempre soñé con el día en que me graduaría de la Universidad.

Mis grandes guías por este largo camino han sido mi padre y madre quienes me han dado su apoyo hasta es sus malos días y nunca me han abandonado, junto a mi hermana y hermano, aunque a peleas, pero siempre hemos seguido juntos.

A mis abuelitos maternos Segundo Prudencio (+) y María Remache quienes me han enseñado desde pequeño a no abandonar a la familia, a brindar la mano a quienes necesiten y a pesar de todo mal que pueda llegar a la vida, siempre deberé levantarme y seguir adelante con la frente en alto.

A mis amigos Carlos, John, Miguel, Cristian Javier (+), Kika y Less, se logró llegar al final de la carrera.

A la Universidad y a sus docentes que nos han formado tanto académicamente como personalmente. Gracias.

**Ángel Adrián Moposita Baño**

## **DEDICATORIA**

Esta tesis se la dedico principalmente al amor de mi vida, a mi estrella, Arleth, mi hija amada, sin ti nada sería tan posible como lo es desde que te tengo, eres mi rayito de luz, esto es para ti y por ti, cariño mío.

A mis padres y hermanas por su constante apoyo, comprensión y sobre todo amor, ustedes son el pilar de mi vida.

A mi mamita Mari pues con su amor siempre me ha dejado ver la luz al final de la penumbra y me ha llenado el corazón.

A mis tíos Mónica Estévez y Fernando Riera por ser mis segundos padres, no tengo como pagarles todo lo que hacen por mí, esto también es para ustedes.

A ti, Henry, por tu apoyo y amor, que han sido mi fortaleza en este último año, gracias por compartir esto conmigo, por amarme tanto, mi niño lindo.

**Erika Nicole Andrade Estévez**

## **DEDICATORIA**

Esta tesis va dedicada a mis grandes pilares de la vida, a mis amados padres Ángel y Virginia, sin ustedes nada de esto sería posible, sin su ayuda nunca hubiese llegado hasta aquí y sin su ayuda no hubiese salido de la operación la cual casi me arrebató la vida.

A mi hermana Gabriela, su esposo Jonathan quien me regalo esta computadora, a mis sobrinos Gabriel y Adalia los quiero. Y a mi hermano Lenin quien igual me apoyo hasta para poder jugar los fines de semana.

A mi papito Segundo (+) quien me cuidó desde pequeño y siempre me decía, que nunca deje de creer en mí, que acabe mis estudios para así poder ayudar en casa.

A mis tíos Jorge, Héctor y Gonzalo, quienes siempre me han acompañado en este largo camino académico y de vida, riéndonos de todo lo que nos pasaba y de las ocurrencias que vivíamos.

**Ángel Adrián Moposita Baño**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**TÍTULO: “ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL BIOGÁS GENERADO POR EL BIODIGESTOR SOLAR CITIES, EN EL CAMPUS CEASA, PERÍODO 2021-2022”**

**AUTORES:** Andrade Estévez Erika Nicole  
Moposita Baño Ángel Adrián

## **RESUMEN**

El presente informe de investigación tuvo como objetivo determinar la eficiencia del biogás (metano) generado por un biodigestor de tipo Solar Cities ubicado en el Campus CEASA. Para lo cual, se realizó un diagnóstico inicial del biodigestor, posteriormente, para su funcionamiento se utilizó estiércol porcino como sustrato, mismo que se obtuvo del criadero del Campus CEASA; se estableció la metodología para la generación del biogás, en relación al tiempo de permanencia, temperatura, tipo de sustrato; la caracterización del biogás se determinó mediante un estudio de cromatografía de gases y su eficiencia en torno a investigaciones realizadas sobre la prueba del color de la llama. Este biodigestor está diseñado para aprovechar los desechos de manera energética y nutricional, por medio de la descomposición anaerobia, para su funcionamiento se realizó una investigación bibliográfica y se estableció como carga inicial 300 L de sustrato, con un pH de entrada de 7.8, Nitrógeno 25.69 %, Sólidos Totales 42.44%, Sólidos Volátiles 23.12 %, datos arrojados del análisis del estiércol. Dentro de los resultados obtenidos en la cromatografía de gases en 56 días, se obtuvo un 18% de metano que es el gas que propicia la combustión, en la prueba de la llama se obtuvo una llama amarilla que denota pobreza del biogás, en el segundo análisis se estableció un porcentaje de 21.12% de metano; además se concluyó, que el biogás generado no cumple con las características necesarias para suplir las aplicaciones del GLP. Finalmente, se recomienda rediseñar el modelo del biodigestor, además de analizar periódicamente el pH del sustrato.

**Palabras clave:** Biogás, Digestión anaerobia, cromatografía de gases, estiércol porcino, GLP.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI  
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES**

**TITLE:** "ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE BIOGAS GENERATED BY THE SOLAR BIODIGESTER CITIES IN THE CEASA CAMPUS, IN THE PERIOD 2021-2022"

**AUTHORS:** Andrade Estévez Erika Nicole

Moposita Baño Ángel Adrián

### **ABSTRACT**

The objective of this research report was to determine the efficiency of the bio-gas (methane) generated by a Solar Cities bio-digester located at the CEASA Campus. For which an initial diagnosis of the bio-digester was carried out. Subsequently, pig manure was used as a substrate for its operation, which was obtained from the CEASA Campus hatchery. The methodology for the generation of bio-gas was established concerning the time of permanence, temperature, and substrate type; the bio-gas's characterization was determined by employing a gas chromatography study, and its efficiency was determined based on research carried out on the flame color test. This bio-digester is designed to utilize the waste energetically and nutritionally, employing anaerobic decomposition. For its operation, a bibliographic investigation was carried out, and it was established as an initial load of 300 L of the substrate, with an input pH of 7.8, Nitrogen 25.69 %, Total Solids 42.44%, Volatile Solids 23.12 %, data obtained from the analysis of the manure. Within the results obtained in the gas chromatography in 56 days, 18% of methane was obtained, which is the gas that favors combustion; in the flame test, a yellow flame was obtained, which denotes the poverty of the bio-gas. In the second analysis, a percentage of 21.12% of methane was established; it was also concluded that the bio-gas generated does not comply with the necessary characteristics to supply the LPG applications. Finally, it is recommended to redesign the bio-digester model and periodically analyze the substrate's pH.

**Key words:** Bio-gas, Anaerobic Digestion, Gas Chromatography, Pig Manure, LPG.

## ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	I
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	II

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	V
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	VIII
AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	IX
AGRADECIMIENTO .....	XI
AGRADECIMIENTO.....	XI
DEDICATORIA .....	XIII
DEDICATORIA .....	XIII
RESUMEN.....	XV
ABSTRACT .....	XVI
1. INFORMACION GENERAL.....	1
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	5
5. FORMULACIÓN DE PROBLEMA .....	5
6. OBJETIVOS .....	6
6.1. General .....	6
6.2. Específicos.....	6
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS ...	7
8. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA CIENTÍFICA .....	8
8.1. Biomasa .....	8
8.2. Desechos que tienen potencial para generar biogás .....	8
8.3. Estiércol Porcino .....	8
8.4. El problema que ocasiona el estiércol porcino frente a la contaminación ambiental.....	9
8.5. Gases de Efecto Invernadero (GEI).....	10
8.6. Gas metano .....	12
8.7. Energías Renovables .....	12
8.8. Biodigestor.....	13
8.9. Tipos de biodigestores .....	13
8.9.1. Biodigestor de flujo continuo .....	13
8.9.2. Biodigestor de flujo discontinuo.....	14

8.9.3. Biodigestor de flujo semicontinuo .....	14
8.10. Biodigestor Solar Cities .....	15
8.10.1. Diseño del biodigestor Solar Cities .....	15
8.11. Digestión anaerobia .....	20
8.11.1. Etapas de la digestión anaerobia .....	20
8.12. Variables controlables y no controlables que intervienen en la digestión anaerobia.....	21
8.12.1. Variables controlables que intervienen en la digestión anaerobia .....	21
8.13. Condiciones necesarias para la digestión anaerobia.....	23
8.14. Biogás.....	23
8.14.1. Bacterias sintróficas .....	24
8.15. Biol.....	24
8.16. Poder Calorífico del Biogás .....	25
9. VALIDACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTÍFICA.....	25
10. METODOLOGÍA.....	26
10.1. Ubicación geográfica del biodigestor .....	26
10.2. Tipos de Investigación.....	26
10.2.1. Investigación de campo.....	26
10.2.2. Investigación Analítica.....	27
10.2.3. Investigación Bibliográfica.....	27
10.2.4. Investigación Cualitativa .....	28
10.2.5. Investigación Cuantitativa .....	28
10.3. Métodos y Técnicas.....	28
10.3.1. Métodos .....	28
10.3.2. Técnicas .....	28
10.3.3. Herramientas .....	29
10.4. Diagnóstico del biodigestor Solar Cities .....	29
10.4.1. Identificación del problema .....	29
10.4.2. Observación directa .....	29
10.4.3. Resultados y solución.....	30
10.5. Variables controlables escogidas para la investigación.....	30
10.5.1. Temperatura .....	30
10.5.2. Tipo de sustrato .....	30

10.5.3.	Tiempo de permanencia .....	31
10.6.	Carga del biodigestor .....	31
10.7.	Cálculo de producción de biogás .....	32
10.8.	Caracterización del estiércol de cerdo.....	33
10.9.	Metodología para toma de muestras de estiércol .....	33
10.9.1.	Toma de muestra .....	33
10.10.	Metodología para toma de muestras de biogás .....	33
10.10.1.	Técnica de muestreo .....	33
10.11.	Métodos utilizados para definir la eficiencia del biogás .....	34
10.11.1.	Prueba del color de la llama .....	34
10.12.	Método de cromatografía de gases.....	34
10.12.1.	Caracterización del biogás.....	34
11.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	35
11.1.	Diagnóstico, resultados y restauración del biodigestor Solar Cities.....	35
11.1.1.	Estado del biodigestor .....	36
11.1.2.	Restauración.....	37
11.1.3.	Diseño del biodigestor Solar Cities restaurado .....	39
11.2.	Funcionamiento del biodigestor .....	40
11.2.1.	Temperatura .....	40
11.2.2.	Tipo de sustrato .....	41
11.3.	Carga del biodigestor para la generación de biogás .....	42
11.3.1.	Cálculo de la cantidad total de estiércol .....	42
11.3.2.	Cálculo para la carga del biodigestor .....	42
11.3.3.	Cálculo de producción biogás por día .....	42
11.4.	Prueba del color de la llama.....	42
11.5.	Cromatografía de Gases.....	45
11.6.	Poder calorífico .....	47
11.7.	Comparación de las características del GLP y Biogás .....	49
12.	IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS).....	50
12.1.	Impactos Técnicos.....	50
12.2.	Impactos Sociales.....	50
12.3.	Impactos Ambientales .....	51
12.4.	Impactos Económicos.....	51

13. PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	52
14. CONCLUSIONES.....	53
15. RECOMENDACIONES.....	54
16. BIBLIOGRAFÍA.....	55
17. ANEXOS.....	62

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Comparación del uso aproximado de tanques de glp por familias ecuatorianas.....	4
TABLA 2. Beneficiarios directos e indirectos.....	5

TABLA 3. Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos .....	7
TABLA 4. Tiempo de permanencia/ temperatura .....	22
TABLA 5. Tipos de sustrato .....	22
TABLA 6. Modelo de checklist .....	29
TABLA 7. Relación biogás – tiempo de retención.....	30
TABLA 8. Disponibilidad de materia prima .....	31
TABLA 9. Relación estiércol:agua .....	31
TABLA 10. Valor de producción de biogás/ kg de excreta.....	32
TABLA 11. Prueba de color de la llama para la identificación del metano en el biogás.....	34
TABLA 12. Caracterización del estiércol de cerdo utilizado .....	41
TABLA 13. Prueba de llama para la identificación del metano en el biogás .....	43
TABLA 14. Resultados de la muestra #1 de biogás día 56.....	45
TABLA 15. Resultados de laboratorio de la muestra #2 de biogás día 95 .....	46
TABLA 16. Comparación de poder calorífico del glp con los resultados obtenidos .....	47
TABLA 17. Poder calorífico de varios combustibles .....	48
TABLA 18. Comparación de propiedades entre glp y biogás .....	50
TABLA 19. Presupuesto para el análisis de eficiencia de biogás .....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Sistema del biodigestor entrada y salida .....	16
--	----

FIGURA 2. Mapa de ubicación (campus ceasa).....	26
FIGURA 3. Diseño inicial del biodigestor solar cities (vista frontal) .....	36
FIGURA 4. Estado inicial del biodigestor solar cities .....	36
FIGURA 5. Sistema 2 restaurado .....	38
FIGURA 6. Sistema 3, 4, 5 y tanque de almacenamiento .....	39
FIGURA 7. Diseño actual del biodigestor solar cities (vista frontal).....	40
FIGURA 8. Prueba con la cocineta .....	43
FIGURA 9. Prueba #1 de color de la llama (amarilla) con soplete.....	44
FIGURA 10. Prueba #2 de llama (amarilla) con soplete.....	44

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. Colocación de tubo pvc para alimentación del biodigestor .....	16
---	----

LUSTRACIÓN 2. Sistema de salida del fertilizante.....	17
ILUSTRACIÓN 3. Colocación de bushing y tubo pvc de 1.2 cm .....	18
ILUSTRACIÓN 4. Sistema de ingreso del gas al tanque b.....	18
ILUSTRACIÓN 5. Sistema de salida del biogás.....	19
ILUSTRACIÓN 6. Colocación del doble vidrio .....	19
ILUSTRACIÓN 7. Aislamiento térmico con poliuretano del tanque a.....	20

## ÍNDICE DE GRAFICO

GRÁFICO 1. Variables que intervienen en la digestión anaerobia.....	21
---	----

GRÁFICO 2. Comparación del poder calorífico glp - biogás .....	48
ÍNDICE DE ANEXOS	
ANEXO 1: Checklist.....	62
ANEXO 2: Readecuación del biodigestor .....	63
ANEXO 3: Carga del biodigestor (estiércol porcino).....	2
ANEXO 4: Toma de muestra de estiércol.....	65
ANEXO 5: Temperaturas .....	66
ANEXO 6: Toma de muestras del biogás .....	67
ANEXO 7: Pruebas realizadas .....	68
ANEXO 8: Toma de muestra de biogás #2.....	68
ANEXO 9: Resultados caracterización de estiércol.....	70
ANEXO 10: Resultado #1 del análisis del biogás .....	71
ANEXO 11: Resultados de laboratorio #2 sobre la muestra de biogás .....	72
ANEXO 12: Aval certificado del abstract.....	73

## **1. INFORMACION GENERAL**

### **Título del Proyecto:**

“Análisis de la eficiencia del biogás generado por el biodigestor Solar Cities, en el campus CEASA, Período 2021-2022”

**Fecha de inicio:** Octubre 2021

**Fecha de finalización:** Febrero 2022

**Lugar de ejecución:** Salache bajo – Eloy Alfaro – Latacunga – Cotopaxi – Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

### **Facultad que auspicia:**

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

### **Carrera que auspicia:**

Ingeniería en Medio Ambiente

### **Equipo de Trabajo:**

**Tutor:** Ing. MSc. José Luis Agreda Oña

### **Lectores:**

Lector 1: Ing. Mg. Jaime René Lema Pillalaza

Lector 2: Ing. MSc. Joseline Luisa Ruiz Depablos

Lector 3: Ing. PhD. Mercy Lucila Ilbay Yupa

**Área de Conocimiento:** Ambiente /Protección del Medio Ambiente

### **Línea de investigación:**

Energías Alternativas y Renovables, Eficiencia Energética y Protección Ambiental

### **Sub líneas de investigación de la Carrera:**

Servicios ecosistémicos y sostenibilidad

## 2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En la actualidad las energías renovables son consideradas el futuro para mitigar el desgaste de los recursos naturales y con esto el freno de la crisis climática. El desarrollo de los biodigestores como alternativa a un gas sostenible se ve aplicado en varios ámbitos, siendo su principal ventaja que uno de sus productos, el biogás, reduce la dependencia generada con los años por los combustibles fósiles, además, no emite partículas contaminantes que forman parte de los GEI, los cuáles son un gran problema en el tema de calidad de aire. Sin embargo, existen interrogantes sobre la verdadera eficiencia de este gas sostenible, en comparación con el GLP de uso doméstico y que en la actualidad es indispensable en varias de las actividades cotidianas de nuestro mundo.

Las actividades ganaderas a nivel nacional se incrementan, en este caso la ganadería porcícola en la Provincia de Cotopaxi constituye una actividad económica de importancia en los sectores rurales, y muchas familias se benefician de la comercialización y crianza de estos animales, por esta razón los GADs crean proyectos y propician investigaciones en relación al crecimiento de esta práctica ganadera.

El Ministerio de Agricultura Ganadería Acuicultura y Pesca (MAGAP), por medio de la Dirección Provincial Agropecuaria de Cotopaxi, entregaron 25 cerdos de raza Yorkshyre y Landrace, en los cantones Salcedo, Sigchos, Pujilí y Saquisilí. La entrega beneficia a 250 familias, en zonas donde la crianza de cerdos es uno de los principales ejes productivos. (MAGAP, sf)

En el campus CEASA perteneciente a la Universidad Técnica de Cotopaxi existen distintos tipos de ganadería, bovina con un total de 35 ejemplares de distintas razas, equina con 4, caprina con 2, pastoreo de llamas y alpacas con 20, y porcícola 17 entre jóvenes y adultos, destinados a estudios por parte de la Carrera de Veterinaria, de estas prácticas se generan muchos desechos, producto de las excretas, actividades de limpieza de animales, cuidado y crianza, mismos que pueden ser aprovechados por el biodigestor Solar Cities, ubicado a pocos metros del establo porcícola, este biodigestor de tipo discontinuo, pertenece a la Carrera de Ingeniería en Medio Ambiente y representa una alternativa de aprovechamiento energético de los desechos ganaderos.

El problema del manejo de excretas de las actividades pecuarias se ha incrementado con el paso del tiempo, por esta razón se establecen investigaciones, que buscan dar solución a este

problema, y a la vez buscan un beneficio a la comunidad y al ambiente, generando energía limpia y gratis que puede mitigar la emisión de GEI, así tenemos estudios como: Análisis comparativo del potencial de Biogás obtenido de la fracción Orgánica de residuos sólidos urbanos (Malacatus *et al*, 2017); Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos (Reyes, 2017); Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: Un análisis teórico-práctico (Blanco *et al*, 2017); Aprovechamiento y valorización energética de biomasa y biogás (Zelaya, 2016). Estas investigaciones tienen un tema diferente cada una, sin embargo, han servido como fuente para el desarrollo de esta investigación.

Esta investigación tiene como objetivo definir la eficiencia del biogás generado por el biodigestor de tipo Solar Cities ubicado en el campus CEASA, para establecer su óptimo funcionamiento en el reciclaje de desechos porcícolas, y de esta manera impulsar el uso de energías renovables en el campus, reduciendo el impacto ambiental que genera las excretas y a la vez generar energía limpia y gratis haciendo del campus un lugar más sostenible.

### **3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

De acuerdo a Garrett (2022) el aumento de la temperatura del planeta se debe al incremento de las actividades humanas que generan gases de efecto invernadero.

Durante los últimos 50 años, la actividad humana, en particular el consumo de combustibles fósiles, ha liberado cantidades de CO<sub>2</sub> y de otros gases de efecto invernadero suficientes para retener más calor en las capas inferiores de la atmósfera y alterar el clima mundial. En los últimos 130 años el mundo se ha calentado aproximadamente 0,85 °C (OMS, 2021).

De acuerdo a la Cámara de Comercio de Quito (2021) “A pesar de que Ecuador es considerado uno de los países menos contaminantes dentro del ranking mundial, puesto que, en 2020 las emisiones de CO<sub>2</sub> se redujeron un 16,82% megatoneladas lo que representa 500.49 CO<sub>2</sub> e”, el problema de emisión de metano a la atmósfera va en aumento, puesto que en el contexto nacional, los datos son alarmantes, así como se menciona en un artículo de El Comercio (2021) “ en el 2020 se observó un salto significativo en la carga atmosférica de metano, de 14.7 partes por mil millones (ppb), el mayor aumento anual registrado desde que comenzaron las mediciones sistemáticas de la NOAA, en 1983.”

En este contexto, es necesario implementar alternativas que contribuyan al cambio de matriz energética y declinen la dependencia de los combustibles fósiles, además, es importante impulsar el reciclaje de las excretas generadas por la ganadería, considerando su potencial energético, que reduciría costos por consumo de GLP y otros combustibles. A continuación, se muestra un aproximado del consumo de tanques de GLP por cada familia ecuatoriana, el costo de por tanque es de \$1.60 en los centros de distribución. Aun así, se debe considerar que el precio puede variar para los sectores rurales de la provincia donde puede llegar a costar \$4.00.

**Tabla 1.**  
*Comparación del uso aproximado de tanques de GLP por familias ecuatorianas*

<b>Familias</b>	<b>Consumo de tanque de GLP</b>	<b>GLP kg</b>	<b>Biogás m3</b>
#1	2	30	66.6
#2	3	45	99.9
#3	2	30	66.6

**Elaborado por:** Andrade E. & Moposita A, 2022

El biogás es un combustible renovable que contiene, esencialmente, metano y dióxido de carbono. Además de que, por su eficiencia, destaca por jugar un importante papel en el cuidado del medio ambiente, sobre todo gracias a que se obtiene a partir del tratamiento de los residuos orgánicos en un proceso de digestión anaerobia. Asimismo, esta energía renovable también se debe valorar desde la vertiente socioeconómica, ya que la generación de este combustible representa una oportunidad de negocio para las zonas rurales, además de garantizar el suministro eléctrico descentralizado. (Geniabioenergy, sf)

El uso del biodigestor Solar Cities para la generación de biogás representa un beneficio en el campus CEASA puesto que, este producto puede ser utilizado en reemplazo del GLP proveniente de combustibles fósiles, considerando que su uso en el campus es relativamente bajo, con ciertas excepciones, se puede implementar al biogás como generador de energía eléctrica que serviría para calefacción, cocina, funcionamiento de las instalaciones del establo, etc, y así reducir el uso de otros combustibles y a la vez reducir costos por adquisición de gas doméstico.

Con estos datos, es importante realizar estudios de la eficiencia de las energías renovables como el biogás que aprovecha el metano generado por residuos de todo tipo, ya sean domésticos, industriales o excretas de animales, para contribuir a la disminución de estas

emisiones. El campus CEASA, posee varios criaderos dedicados a las actividades pecuarias, en este caso se ha enfocado esta investigación a establecer la eficiencia del biogás generado por el biodigestor Solar Cities, que funciona a base de estiércol porcino, mismo que tienen una capacidad alta de descomposición propiciando la digestión anaerobia y por tanto la generación de biogás, además, de que su recolección es mucho más fácil en comparación a la de los otros animales del campus, pues esta tiene un sitio de apilamiento, los resultados servirán como fuente de consulta en futuras investigaciones por parte de los beneficiarios directos que es la Universidad Técnica de Cotopaxi.

#### 4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Los beneficiarios del proyecto de investigación de manera directa serán la comunidad educativa de la Universidad Técnica de Cotopaxi, y de manera indirecta todo el cantón de Latacunga puesto que, esta investigación proporciona datos para futuras investigaciones.

**Tabla 2.**  
*Beneficiarios directos e indirectos*

<b>BENEFICIARIOS INDIRECTOS</b>		<b>BENEFICIARIOS DIRECTOS</b>	
<b>Cantón Latacunga</b>		Universidad Técnica de Cotopaxi	
<b>Hombres</b>	82301	<b>Alumnos de primer ciclo en adelante</b>	10500
		<b>Alumnos de nivelación</b>	1080
<b>Mujeres</b>	88188	<b>Docentes</b>	350
		<b>Funcionarios</b>	182
<b>Total</b>	170489	<b>Total</b>	12112

**Fuente:** (INEC, 2010), (Página de la Universidad Técnica de Cotopaxi)

**Elaborado por:** Andrade E. & Moposita A., 2022

#### 5. FORMULACIÓN DE PROBLEMA

Las emisiones de gases de efecto invernadero son los causantes del calentamiento global, en medida que crece la población se incrementan los medios de producción uno de ellos es la industria pecuaria, que es responsable de las emisiones de metano a la atmósfera en gran cantidad, así como, el aporte de CO<sub>2</sub> de los compuestos derivados del petróleo como el GLP. En el Ecuador, el metano se genera de dos maneras relevantes que son la extracción de productos derivados del petróleo y la ganadería, a pesar de que se conoce su alto potencial energético no existen proyectos relevantes sobre su aprovechamiento, ni estudios a gran

escala sobre su eficiencia, el metano generado por estas actividades no es aprovechado de manera correcta, sin considerar, que este puede ser una solución energética, para la deficiencia eléctrica en sectores rurales, además del paso de una fuente fósil a una renovable.

El metano ofrece un gran beneficio al medio ambiente, ya que produce más energía calorífica y lumínica por masa que cualquier otro hidrocarburo o combustible fósil, como el carbón o la gasolina refinada a partir del petróleo, y produce mucho menos dióxido de carbono y otros contaminantes que contribuyen a la formación del smog y del aire insalubre. Esto quiere decir que cuanto más gas natural se use, en lugar de carbón, para generar electricidad o en lugar de gasolina para los automóviles, camiones o autobuses, menores serán las emisiones de gas de efecto invernadero o los contaminantes relacionados con el smog (SoCalGas, sf).

Dentro del campus CEASA, el manejo inadecuado de las excretas genera un impacto ambiental considerable, puesto que las excretas se encuentran a la intemperie causando malos olores, plagas y la generación de GEI por la descomposición de las mismas, con el uso del biodigestor de tipo Solar Cities se puede generar energía que igualará al poder calorífico del GLP de uso doméstico, en el criadero porcino del campus CEASA, de esta manera se aprovecharía estos desechos considerando que, se utiliza un tanque de gas (GLP) por mes, para actividades de limpieza de pezoneras y desinfección de instrumentos, sin embargo, el uso se incrementa cuando existen partos pues pasa de uno a 5 tanques por mes, este consumo puede ser reemplazado con el uso de biogás generado por el biodigestor.

## **6. OBJETIVOS**

### **6.1. General**

- Evaluar la eficiencia del biogás generado por el biodigestor de tipo Solar Cities ubicado en el campus CEASA durante el período 2021-2022.

### **6.2. Específicos**

1. Diagnosticar el estado actual del biodigestor de tipo Solar Cities, ubicado en el Campus CEASA, estudiando su diseño inicial, para la reanudación de su funcionamiento y posterior obtención de biogás (metano).
2. Determinar la eficiencia del biogás generado por el biodigestor Solar Cities, utilizando dos métodos (Prueba de color de la llama y Cromatografía de gases), identificando parámetros que contribuyen a su alta o baja eficiencia.

3. Comparar la eficiencia del biogás generado en este estudio, con el GLP mediante el uso de bibliografía referente al tema.

## 7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS

**Tabla 3.**

*Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos*

Objetivos	Actividad	Resultado de la actividad	Metodología (técnicas e instrumentos)
Diagnosticar el estado actual del biodigestor de tipo Solar Cities, ubicado en el Campus CEASA, estudiando su diseño inicial, para la reanudación de su funcionamiento y posterior obtención de biogás (metano).	Inspección de la situación actual del biodigestor Solar Cities.  Identificación de las partes faltantes del biodigestor.  Estudio del diseño inicial del biodigestor,	Funcionamiento del biodigestor	Checklist  Bibliografía del biodigestor Solar Cities.  Uso de un primer estudio realizado en 2019, de la construcción y adecuación del biodigestor.
Determinar la eficiencia del biogás generado por el biodigestor Solar Cities, utilizando dos métodos (Prueba del color de la llama y Cromatografía de gases), identificando parámetros que contribuyen a su alta o baja eficiencia.	Toma de muestras del gas.  Entrega de las muestras al laboratorio para el análisis cromatográfico.  Prueba de la llama.	Caracterización del biogás obtenido.	Protocolo de toma de muestras de gas.  Cromatografía de gases.  Prueba de llama.
Comparar la eficiencia del biogás generado en este estudio, con el GLP mediante el uso de bibliografía referente al tema.	Análisis de los resultados obtenidos del laboratorio.  Identificación de las características físicas y químicas del GLP.	Comparación de la eficiencia del biogás generado frente al GLP de uso doméstico.	Revisión bibliográfica primaria y secundaria.

**Elaborado por:** Andrade E. & Moposita A., 2022

## **8. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA CIENTÍFICA**

### **8.1. Biomasa**

Es una energía renovable a base de materia orgánica que, si bien hace unos años aún no era del todo popular, ya está afirmada como una de las opciones que manejan los consumidores a la hora de generar calor. Su alta eficiencia energética, dosis de ahorro y sostenibilidad ambiental permiten que sea una opción viable para muchos casos. La biomasa puede ser de origen natural, residual o producida. La biomasa natural se produce en la naturaleza sin intervención humana. La residual proviene de los restos que generan diversas actividades de las personas, mientras que la biomasa producida hace referencia a cultivos energéticos o excedentes agrícolas (Rodríguez, 2020).

El uso de la biomasa en la actualidad ha tomado una gran acogida, debido a su poder calorífico, alta eficiencia energética, ahorro y amigable con el medio ambiente, siendo viable en la mayoría de los casos a ser utilizada. Existen biomasas de tipo natural, residual o producida, siendo esta última producida por las necesidades del ser humano.

### **8.2. Desechos que tienen potencial para generar biogás**

De acuerdo a Murillo (2019), los desechos que generan más metano se clasifican de la siguiente forma:

- Desechos Animales: Estiércoles, cama, desechos alimenticios, orina, etc.
- Residuos Agrícolas: Semillas, pajas, bagazo de caña, etc.
- Desechos de Rastros: Sangre, carne, desechos de pescado, etc.
- Residuos Agroindustriales: Aserrín, desechos de tabaco, cascarilla de arroz, desechos de frutas y vegetales, etc.
- Residuos Forestales: Ramas, hojas, cortezas, etc.

### **8.3. Estiércol Porcino**

El estiércol porcino, de consistencia líquida, es la mezcla de heces, orina, agua de la limpieza de los corrales, más el alimento y agua que se desperdicia; tiene valor agronómico, ya que se puede usar como abono orgánico, para la producción de cultivos sin impactos ambientales significativos. Si no es manejado adecuadamente, puede impactar negativamente al medio ambiente, perjudicando, el medio hídrico, atmosférico y suelo. El estiércol, como tal, puede ser usado como abono orgánico; aunque también hay la posibilidad de separarlo en su fracción líquida y sólida. La primera puede ser usada para el riego y la segunda como “guano” para fertilizar los campos de cultivo. Esta opción es más amigable con el medio ambiente, da

valor agregado a un residuo muchas veces no aprovechado, es más económico que los fertilizantes sintéticos y posibilita desarrollar actividades productivas sustentables (Moreno & Cadillo, 2018).

El estiércol de cerdos es una mezcla de sus heces, orina, agua y comida, con un gran valor agronómico, debido a uso como abono orgánico para cultivos menores. Este puede separarse en fracción líquida la cual es usada para riego y en fracción sólida la cual es usada como fertilizante o abono para los cultivos. Al no ser manejado correctamente su impacto es negativo para el medio ambiente, contaminando el medio hídrico, paisajístico y suelo.

#### **8.4. El problema que ocasiona el estiércol porcino frente a la contaminación ambiental**

Los estiércoles han causado impactos ambientales negativos como contaminación de suelo, agua, generación de gases que potencializan el efecto invernadero, debido a la falta de información y de manejo de estos insumos. En el caso de algunas familias que tienen cerdos, el manejo es técnicamente erróneo y además que los excrementos se desperdician. Por otra parte, al estar esparcidos en los terrenos ocasionan situaciones de insalubridad por los malos olores, entre otros; que disminuye la calidad de vida de las personas que se encuentran cerca a esta (Osejos *et al.*, 2018).

Esto se ha convertido en un problema debido al crecimiento de la población, la carne de cerdo se posiciona en el mercado al igual que la de ganado vacuno, así que su producción se incrementa, las energías renovables, son una oportunidad de cambio y el aprovechamiento de los desechos porcícolas una ventaja, el potencial energético y nutricional del biogás y biol, depende del tipo de alimentación del animal, el organismo de este llega a almacenar los nutrientes necesarios para sus funciones fisiológicas; y los elementos de la digestión no utilizados se expulsan como heces (Domínguez, *et al.*, 2014).

Los cerdos consumen alimentos con excelente factor proteico, pero son ineficientes convertidores de alimentos y desperdician gran porcentaje de proteínas y micronutrientes aprovechables de los granos. El estiércol con mayor capacidad de generación de biogás es el porcino y las excretas humanas, pero el fertilizante que producen es muy ácido, además por animal se produce gran cantidad de estiércol, y por tanto es el más fácil de recoger. (Paiva, 2016)

Debido al tipo de dieta que pueda llevar el cerdo, su organismo solo absorberá los nutrientes necesarios para sus funciones vitales, los demás nutrientes restantes serán expulsados como

heces. Los cerdos son ineficientes convertidores de alimentos y debido a esto desperdiciarán la mayoría de las proteínas y nutrientes de los granos. Gracias a esto el estiércol de cerdo posee la capacidad de generar una mayor cantidad de biogás junto con la humana.

El estiércol de cerdo al no ser manejado correctamente causa impactos negativos al medio ambiente, tales como la contaminación del suelo y agua, generación de GEI, en caso de las familias que poseen cerdos, el manejo es erróneo sin contar con el desperdicio de las excretas. Al estar estos esparcidos en sus terrenos producen malos olores e insalubridad disminuyendo la calidad de vida.

De acuerdo con Moncayo (2013) las características físicas y rendimiento de biogás típicos del estiércol animal tienen las siguientes eficiencias el estiércol de vaca 200 – 500 m<sup>3</sup> biogás/t MV; Estiércol de cerdo 270 – 450 m<sup>3</sup> biogás/t MV; Purín de cerdo 300 – 700 m<sup>3</sup> biogás/t MV.

El tiempo de retención para diferentes sustratos son:

- Excretas de ganado vacuno: 20 a 30 días.
- Excretas de cerdos: 15 a 25 días.
- La mezcla de excretas y material vegetativo: 50 a 80 días.

Lo anterior mencionado confirma que el uso de excretas animales puede ser una alternativa energética de reemplazo a los combustibles fósiles, inicialmente se ha usado a pequeña escala en sectores rurales, donde el uso de electricidad es nulo, por las condiciones remotas para la instalación de postes y cableado, las excretas aprovechadas de manera eficiente, son una solución a este y otros problemas como el esparcimiento de plagas y olores, siendo, que el biogás presenta un poder calorífico similar o en ocasiones mayor al del GLP, se puede usar en distintas aplicaciones sobre todo de uso doméstico y de crianza de animales de granja.

### **8.5. Gases de Efecto Invernadero (GEI)**

La demanda mundial de energía está ascendiendo precipitadamente debido a los avances tecnológicos, esto está ocasionando la escasez de los suministros fósiles causando efectos ambientales negativos que necesitan ser tratados con energías amigables para el ambiente y así tratar de disminuir el uso de energía fósil. Alternativamente, se deben aumentar las fuentes de energía renovable que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales una de ellas es el biogás que en algunos países su aplicación está siendo muy

útil para tratar residuos biodegradables (Zareei, 2017). Las emisiones antropogénicas provocan una contaminación ambiental que conduce al cambio climático. Para reducir los efectos adversos de la combustión de combustibles fósiles, la integración de los sistemas de energía renovable ha aumentado tanto en número como en capacidad. La biomasa es una de las alternativas prometedoras de las energías renovables para satisfacer la demanda energética futura y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. (Akyürek, 2018)

Los gases de efecto invernadero son la principal fuente de contaminación del aire e incluyen dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y hexafluoruro de azufre. Si bien algunos gases se producen a través de procesos naturales, las actividades humanas como la quema de combustibles fósiles, la cría de ganado y las emisiones de vehículos han multiplicado su cantidad (ONU, 2019).

Debido a la demanda de energía creciente en los últimos años, el combustible fósil está agotándose causando efectos ambientales negativos, que deben ser tratados con el uso de energías renovables o limpias virtualmente inagotables. Las emisiones antropogénicas son las causantes del cambio climático, para reducir estos efectos el uso de la biomasa es una de las alternativas al darnos como resultado de esta el biogás, siendo una alternativa prometedora.

En el caso de Ecuador, y como dato revelador, se han perdido el 40% de los glaciares en los últimos 30 años. Además, 2 de las 7 coberturas glaciares con las que cuenta el país están en riesgo inminente. El Carihuairazo es un ejemplo de ello, al haber perdido el 92% de su casquete glaciar entre 1956 y 2018. Son datos preocupantes y a pesar de no ser considerados un país emisor de GEI en el contexto internacional, en el plano nacional si representa un problema al que hay que buscarle solución de manera inmediata. Esto se da en un contexto en el que aún es necesario un cambio en el modelo de desarrollo, pues se registran altos niveles de producción y uso indiscriminado de energía (matriz eléctrica se conforma por un 49% de termoeléctricas, 46% de hidroenergía, 2% de energía renovable no convencional).

El 83% de la demanda de energía proviene de fuentes fósiles que a su vez son las más contaminantes, entre las cuales se encuentran el diésel y la gasolina. En consecuencia, el 47% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del país corresponden a este sector. Además, la generación de 4,1 millones de toneladas de residuos sólidos al año, lo que representa 273 mil camiones de basura, de los cuales solo el 6% es reciclado. (PNUD, 2019)

## **8.6. Gas metano**

El metano (CH<sub>4</sub>) es un hidrocarburo, componente principal del gas natural. Es también un “gas de efecto invernadero”, lo que significa que su presencia en la atmósfera afecta la temperatura y el sistema climatológico de la Tierra. Como resultado, los esfuerzos por reducir las emisiones de metano pueden rendir beneficios ambientales, económicos y de energía (Methane to Markets, 2008).

Cerca del 60 por ciento del metano en la atmósfera proviene de fuentes que la ciencia considera son causadas por actividades humanas, mientras que el restante 40 por ciento se origina en fuentes naturales. Entre las fuentes naturales están los humedales, las termitas, los volcanes y el permafrost. Las fuentes humanas incluyen la ganadería, los sitios de explotación de gas y petróleo, los arrozales, las minas (particularmente de carbón) y los vertederos. Cabe resaltar que, según evidencia científica, los embalses de las represas son también una fuente importante de metano. Generan 1.3 por ciento de los gases de efecto invernadero de toda la humanidad en un año (más que todas las emisiones contaminantes de Canadá) y el 80% de esa contaminación es metano. (Quintanilla, 2020)

El gas metano es también un GEI, su sola presencia en la atmósfera significa el aumento de la temperatura en la atmósfera, el 60% de emisiones de gas metano a la atmósfera proviene de las actividades humanas y el 40% restante es de origen natural. Las principales fuentes de contaminación humana son la ganadería, la extracción y explotación del gas natural y petróleo, las plantaciones de arroz, las minas y los vertederos.

## **8.7. Energías Renovables**

Se denomina Energía Renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen o por ser capaces de regenerarse por medios naturales. En consideración a su grado de desarrollo tecnológico y a su nivel de penetración en la matriz energética de los países, las Energías Renovables se clasifican en Energías Renovables Convencionales y Energías Renovables No Convencionales. Dentro de las primeras se considera a las grandes centrales hidroeléctricas; mientras que dentro de las segundas se ubica a las generadoras eólicas, solares fotovoltaicos, solares térmicas, geotérmicas, mareomotrices, de biomasa y las pequeñas hidroeléctricas (Spiegeler & Cifuentes, 2016).

Las energías renovables se obtienen de fuentes naturales casi inagotables, posee una gran cantidad de energía y pueden ser capaces de regenerarse por medios naturales sin la

interrupción del ser humano. Estas se dividen en dos partes, la primera siendo las energías renovables convencionales tales como son las hidroeléctricas, mientras que las energías renovables no convencionales son los generadores eólicos, paneles solares fotovoltaicos, térmicos, geotérmicos, mareomotrices, biodigestores y pequeñas hidroeléctricas.

En el caso de la energía que parte de la biomasa de acuerdo a PRIMAGAS (2020) el biogás ha despertado un gran interés en los últimos años, por ser una de las energías alternativas de más fácil implementación, especialmente en las zonas rurales o semi-urbanas. Esta energía es compatible con las necesidades de cocción, cocina, calefacción y las múltiples aplicaciones de los combustibles tradicionales.

### **8.8. Biodigestor**

Un biodigestor o digestor es un reactor químico simple donde se lleva a cabo la descomposición de desechos orgánicos, ya sea de origen animal o vegetal, con la finalidad de obtener productos aprovechables como biogás y en la mayoría de los casos, bioabono líquido, mejor conocido como biol que se utiliza como fertilizante para los sembradíos. Los biodigestores son muy importantes en zonas rurales donde son utilizados como fuente de energía y de fertilizantes, dándole un segundo uso a los desechos diarios de las granjas (IQR, 2020).

### **8.9. Tipos de biodigestores**

De acuerdo a IQR (2020) actualmente, existen varios tipos de biodigestores en el mercado. A continuación, veremos los más extendidos en uso alrededor del mundo:

#### ***8.9.1. Biodigestor de flujo continuo***

Este tipo de biodigestor es usualmente utilizado para el tratamiento de aguas residuales. Como su nombre lo indica, el flujo del material residual pasa de manera continua por este tipo de reactores.

Tienden a ser de gran tamaño, de dimensiones industriales, además de contar con diferentes sistemas de control de procesos. Su principal característica es que permiten producir una gran cantidad de biogás. A su vez, esta clase de biodigestor puede ser de los siguientes tipos:

1. Sistema de desplazamiento horizontal (utilizan la gravedad y un cilindro pistón para movilizar el flujo).
2. Sistema de tanque vertical.
3. Sistema de tanques múltiples.

### ***8.9.2. Biodigestor de flujo discontinuo***

Como su nombre lo indica, el flujo no pasa continuamente por este biodigestor. Son reactores donde la descomposición se realiza por lotes, es decir, toda la carga se ingresa al inicio del proceso y se retira al finalizar la descomposición.

Son menos automatizados que los biodigestores descritos anteriormente y requieren mucha más mano de obra para funcionar. Asimismo, estos biodigestores requieren toda una estructura aparte para su funcionamiento ya que operan por lotes, requiriendo almacenamiento de la biomasa y depósitos para los productos finales. Generalmente, son ubicados en paralelo para realizar varias descomposiciones a la vez.

### ***8.9.3. Biodigestor de flujo semicontinuo***

Estos biodigestores se encuentran entre los de flujo continuo y los de flujo discontinuo. Se introduce la carga en el biodigestor y se retiran los productos en pequeños lotes o baches de manera periódica (por ejemplo, cada 12 horas), pudiendo operar continuamente en el tiempo sin necesidad de parar la operación.

Requieren menos mano de obra que un biodigestor discontinuo, pero requieren de equipos mecánicos para movilizar la biomasa y transportar el gas a sus depósitos. Son utilizados generalmente para tratar el agua contaminada y pueden ser de tres tipos:

1. **Cúpula fija o sistema Chino:** Centrado en la eliminación de los desechos orgánicos y en la generación de fertilizantes. Son diseñados para eliminar malos olores y obtener gas para alumbrado público y estufas. Su principal característica es que funcionan con presión variable. En este tipo de biodigestor, el biogás es un producto secundario.
2. **Cúpula móvil o sistema Hindú:** Desarrollado en la India luego de la Segunda Guerra Mundial con la finalidad de proveer de combustible a los campesinos del país. La principal característica de este biodigestor es que trabaja a presión constante y su operación es muy sencilla. Su producto principal es el biogás.
3. **Biodigestor salchicha o de bajo costo (Taiwán):** Están contruidos a partir de mangas de polietileno tubular de muy bajo costo. Se caracterizan por requerir muy poco mantenimiento y por ser muy fáciles de instalar. Son muy utilizados en el sureste asiático, Suramérica y Centroamérica.

### **8.10. Biodigestor Solar Cities**

Es un biodigestor basado en contenedores a granel de Solar CITIES International desarrollado por primera vez por el Dr. Thomas H. Culhane, el sistema ha sido mejorado continuamente desde entonces a través de ideas de la comunidad de biogás a pequeña escala y ahora no solo se aplica en hogares y comunidades de todo el mundo. Aproximadamente 25 litros de restos de tierra y desechos biológicos mezclados con agua tibia/caliente (50:50) producirán en 24 horas, en condiciones ideales (pH relativamente neutro - valor y temperaturas alrededor de 30°C) 1000 litros de biogás que se pueden utilizar para cocinar, calentar u otros aparatos. Con cada evento de alimentación orgánica se libera fertilizante líquido que asegura el crecimiento y la floración de las plantas (Culhane, *et al.*, 2015).

De acuerdo con Murillo (2019) “es un modelo muy económico fácil de transportar por su bajo peso. Este modelo de biodigestor puede acoplarse a distintos climas. Contiene un aislamiento térmico incluido una ventana de vidrio, la cual retiene el calor en el biodigestor para mejorar la producción del gas”.

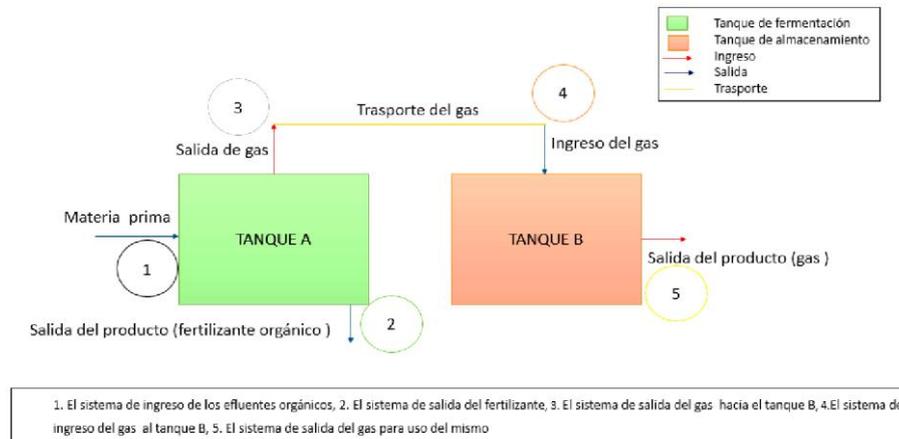
#### **8.10.1. Diseño del biodigestor Solar Cities**

El Biodigestor Solar Cities se construyó en el año 2019 por la Srta. Mayra Murillo con dos tanques IBC (A y B), una capacidad de 1000 litros con las siguientes medidas 1,20 m por 1.00 m. Este posee 5 sistemas:

1. El sistema de ingreso de los efluentes orgánicos
2. El sistema de salida del fertilizante
3. El sistema de salida del gas hacia el tanque B
4. El sistema de ingreso del gas al tanque B
5. El sistema de salida del gas para uso del mismo

A: Tanque de fermentación (tanque de digestión)

**Figura 1.**  
*Sistema del biodigestor entrada y salida*



**Fuente:** (Murillo, 2019)

El tanque A cumple con la digestión anaeróbica que tiene lugar en ausencia de aire y luz. El biogás que surge, está compuesto principalmente de metano y dióxido de carbono. En el tanque A está formado por tres sistemas, donde se adaptó una entrada de los efluentes orgánicos, salida del fertilizante y salida del gas.

### **Sistema 1: Tubería de alimentación**

Alimenta al tanque fermentador con la biomasa. Se realizó un orificio con diámetro de 4pulg, se introdujo un tubo PVC de 80 cm de largo, con un adaptador de 10 cm de ancho, acoplamos un tubo PVC de 30 cm con un embudo.

### **Ilustración 1.**

*Colocación de tubo PVC para alimentación del biodigestor*



**Fuente:** (Murillo, 2019)

## Sistema 2: Salida del fertilizante

Esta tubería funciona como un desfogue, permitiendo la salida del fertilizante desde el fermentador. Este sistema está construido por una perforación en la parte superior del tanque de 7.6 cm, y se utilizó dos tubos de PVC de 7.6 cm de ancho por 90 y 80cm de largo, el tubo de 90 cm se introdujo dentro del tanque con un adaptador de 5 cm de ancho, una Te de 7.6 a 5 cm de ancho, con tapón fue colocada en el tubo de 7.6 cm de ancho (90cm) y un tubo de 5 cm de ancho, que va ligada al tubo de 7,6 cm de ancho (80cm) con una Te de 7.6 cm a 5 con tapón.

### Ilustración 2.

*Sistema de salida del fertilizante*



Fuente: (Murillo, 2019)

## Sistema 3: Tubería salida de gas

Esta tubería permite conducir el gas hacia el tanque de almacenamiento (B). La tapa superior del tanque A se acoplo un bushing de 5 cm a 1.2 cm de ancho, se adaptó 3 m de tubo de PVC de 1.2 cm de ancho. En el sistema se utilizó dos Te de 1.2 cm de ancho, 2 codos de 1.2 cm de ancho, una universal de 1.2 cm de ancho y una contratuerca de 1.2 cm de ancho conectándose hacia el tanque.

**Ilustración 3.**

*Colocación de bushing y tuvo PVC de 1.2 cm*



**Fuente:** (Murillo, 2019)

B: Tanque de almacenamiento

Consiste en el almacenamiento del gas, el tanque B cuenta con dos sistemas de entrada y salida del gas.

**Sistema 4: Ingreso del gas**

La tapa superior del tanque A se acopló un bushing de 5 a 1.2 cm de ancho. En el sistema se utilizó dos Te de 1.2 cm de ancho, 2 codos de 1.2 cm de ancho, una universal de 1.2 cm de ancho y una contratuerca de 1.2 cm de ancho que une con el sistema de salida del gas del tanque A.

**Ilustración 4.**

*Sistema de ingreso del gas al tanque B*



**Fuente:** (Murillo, 2019)

### Sistema 5: Salida del gas

En la tapa del taque B se acoplo un bushing de 5 a 1.2 cm de ancho, con una salida de tubo de PVC de 1.2 cm de ancho, codo de 1.2 cm de ancho, válvula de 1.2 cm de ancho y una manguera bicapa de 1.2 cm de ancho. Una vez armado todos los sistemas de entrada y de salida se selló herméticamente todas las uniones para evitar la fuga de gas producto de la descomposición de los efluentes.

#### Ilustración 5.

*Sistema de Salida del biogás*

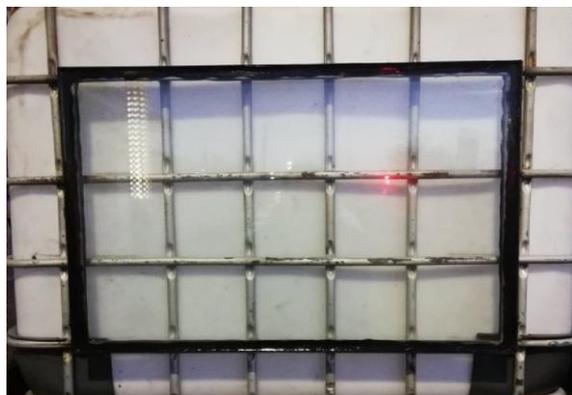


Fuente: (Murillo, 2019)

En el taque A se acopló una ventana de vidrio de doble panel de 80 x 60 cm que permitirá retener el calor en el biodigestor para ganar calor. (mirando hacia el sur en las latitudes del norte). Una vez construido el biodigestor se trasladó el tanque A, a la ciudad de Quito a la empresa VERTÓN con la finalidad de colocar un aislante térmico (poliuretano), que permitirá mantener una temperatura adecuada para el proceso de biodigestión.

#### Ilustración 6.

*Colocación del doble vidrio*



Fuente: (Murillo, 2019)

**Ilustración 7.**

*Aislamiento térmico con poliuretano del tanque A.*



**Fuente:** (Murillo, 2019)

**8.11. Digestión anaerobia**

La digestión anaerobia (DA) es un proceso biológico que utiliza microbios para biodegradar la materia orgánica (materia prima) en ausencia de oxígeno. Proporciona una gran cantidad de beneficios en el tratamiento de corrientes de efluentes desafiantes al tiempo que ofrece la oportunidad de generar valor en el proceso. La digestión anaeróbica produce energía en forma de biogás, uno de los recursos más valiosos típicamente recuperados del proceso (Fluence, 2020).

**8.11.1. Etapas de la digestión anaerobia**

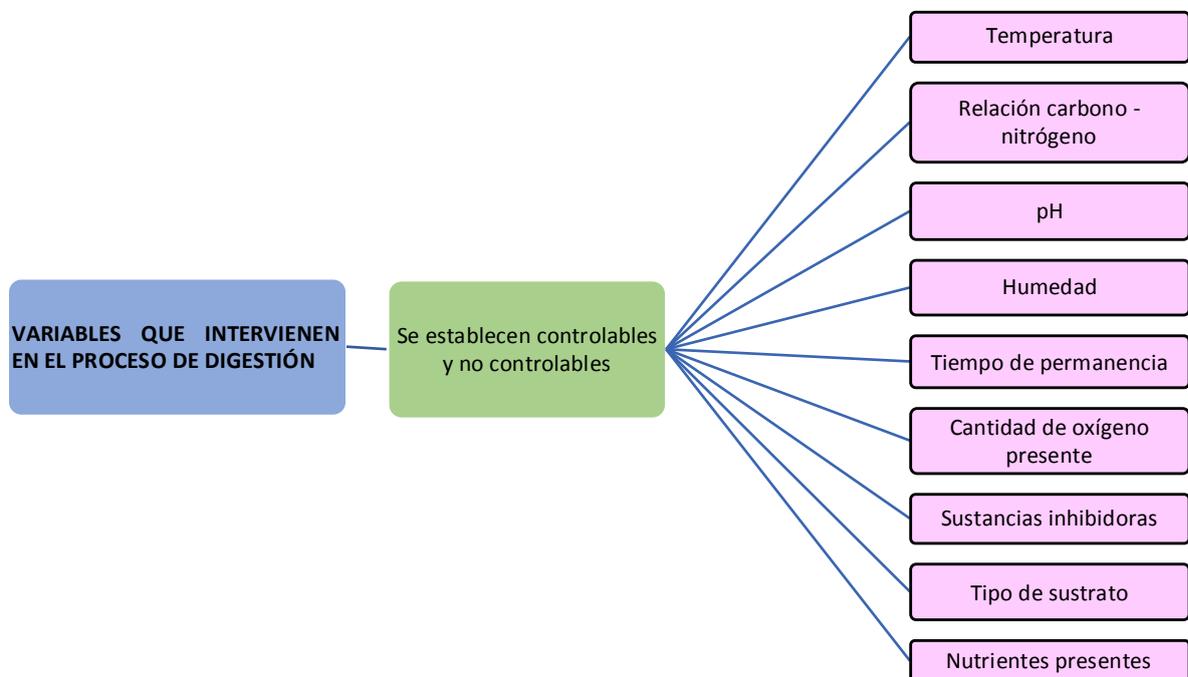
- **Hidrólisis:** La materia orgánica compleja (hidratos de carbono, proteínas, lípidos, etc.) es degradada por la acción de microorganismos en materia orgánica soluble (azúcares, aminoácidos, ácidos grasos), lo que genera los sustratos para la siguiente etapa.
- **Acidogénesis y acetogénesis:** Distintos grupos de microorganismos, denominados acidogénicos y acetogénicos, procesan esa materia orgánica soluble y liberan principalmente hidrógeno molecular ( $H_2$ ),  $CO_2$  y acetato ( $CH_3COO^-$ ). Dado que la acidogénesis es considerada la etapa más rápida del proceso global, resulta fundamental controlarla para evitar que el descenso de pH (acidificación) del medio interfiera con la acción del consorcio microbiano.
- **Metanogénesis:** Finalmente, los microorganismos metanogénicos tienen dos vías metabólicas diferentes: la vía acetoclástica, que transforma el ácido acético en  $CH_4$  y  $CO_2$ , y la vía hidrogenotrófica, que a partir del  $H_2$  y el  $CO_2$  genera  $CH_4$  (FAO, 2019).

## 8.12. Variables controlables y no controlables que intervienen en la digestión anaerobia.

Dentro de la digestión anaerobia se establecen factores y condiciones que contribuyen al desarrollo microbiano, de esto se desprenden las variables controlables y no controlables. Las variables controlables son aquellas que se consideran significativas para la digestión anaerobia, además estas pueden ser alteradas de acuerdo a las necesidades de producción y las no controlables son denominadas de complemento y cumplen un papel secundario, no se pueden modificar y se estandarizan. (Galán *et al.*, 2010)

### Gráfico 1.

*Variables que intervienen en la digestión anaerobia*



**Fuente:** (Galán *et al.*, 2010)

**Elaborado por:** Andrade E. & Moposita A., 2022

### 8.12.1. Variables controlables que intervienen en la digestión anaerobia

- **Temperatura**

Se considera la máxima y mínima del sitio de aplicación, esta variable tiene un papel fundamental en el diseño del biodigestor y el tipo de sustrato que se va a utilizar para la generación de biogás, es controlable, debido a que se puede acondicionar el biodigestor para que conserve una temperatura diferente a la del ambiente y de esta manera propiciar el crecimiento microbiano. (Galán *et al.*, 2010)

La temperatura determina el tiempo de retención para la digestión y degradación de la materia orgánica dentro del digestor, la degradación se incrementa de manera geométrica con los aumentos de la temperatura de trabajo, además se incrementa la producción de biogás. (Gonzabay & Suárez, 2016)

- **pH**

El pH influye en el proceso anaeróbico puesto que, al estar fuera del rango óptimo, los microorganismos metanogénicos son más susceptibles a la variación de pH, comparados con los otros microorganismos de la comunidad microbiana anaeróbica. El nivel óptimo para los diferentes grupos bacterianos es entre 5.5 y 6.5 para acidogénicos y entre 7.8 y 8.2 para metanogénicos. (Monteros *et al.*, 2017).

- **Tiempo de permanencia**

Es el tiempo que permanecerá el sustrato dentro del biodigestor para su degradación. Este parámetro se determinará de acuerdo a la temperatura ambiente del biodigestor y el tipo de materia orgánica que será utilizada. Considerando que alrededor de los 20 días se establece el crecimiento de bacterias metanogénicas (Quelal & Ullauri, 2019).

**Tabla 4.**  
*Tiempo de permanencia/ temperatura*

<b>Fermentación</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Tiempo de permanencia</b>
<b>Psicrofílica</b>	4 – 10 °C	Arriba de 100 días
<b>Mesofílica</b>	15 – 20 °C	30 – 60 días
<b>Termofílica</b>	25 – 45 °C	10 – 15 días

**Fuente:** Infante, 2006

**Elaborado por:** Andrade, E. & Moposita, A (2022)

- **Tipo de Sustrato**

Se trata de la materia orgánica o inorgánica que va a ser introducida al biodigestor para su degradación y obtención de biogás. El sustrato se escoge de acuerdo a su capacidad de degradación y existen distintos tipos.

**Tabla 5.**  
*Tipos de sustrato*

<b>Tipo de animal (peso corporal individual)</b>	<b>Producción de biogás (m<sup>3</sup> /kg estiércol)</b>	<b>Disponibilidad diaria de estiércol (kg)</b>	<b>Producción diaria (m<sup>3</sup>)</b>
Bovino (500 kg)	0.04	10.00	0.40
Porcino (50 kg)	0.06	2.5	0.14
Ovino (32 kg)	0.05	1.50	0.08
Equino (450 kg)	0.06	1.00	0.60

**Fuente:** Guerrero, 2020

### 8.13. Condiciones necesarias para la digestión anaerobia

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

1. Temperatura entre los 20°C y 60°C
2. pH (nivel de acidez/ alcalinidad) alrededor de siete.
3. Ausencia de oxígeno.
4. Gran nivel de humedad.
5. Materia orgánica.
6. Que la materia prima se encuentre en el trozo más pequeños posible.
7. Equilibrio de carbono/ nitrógeno (Guamanquispe & Perdomo, 2018)

### 8.14. Biogás

El biogás producido se encuentra compuesto principalmente por dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>), y en menor medida otros gases, entre los que se destaca el sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), un gas altamente tóxico, responsable del olor fuerte y desagradable que se percibe en los ambientes naturales donde se genera biogás por la degradación anaeróbica de la materia orgánica (FAO, 2019).

Su potencial desarrollo, no solo pensando en la producción de biogás, sino como ayuda a la obtención de biofertilizante y es un sistema que no demanda de mucha inversión, es apropiado para agricultores de países en desarrollo. Puede ser producido por bacterias que descomponen la materia orgánica en condiciones anaerobias tales como los desechos animales, humanos y los vegetales que son biodegradables (Moreda, 2016).

Dada su importancia ecológica, el uso y la destrucción del metano (CH<sub>4</sub>) contenido en el biogás se considera internacionalmente como un proyecto de mecanismo de desarrollo limpio. El Protocolo de Kioto (organización internacional) proporciona algunos incentivos para apoyar la viabilidad de estos proyectos ambientales; negociado para obtener créditos de carbono de recursos económicos que respalden la viabilidad del proyecto; aplicable para ayudar a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Forero, 2020).

Dentro del metabolismo de la digestión anaerobia existen grupos de bacterias sintróficas cuya principal característica es la unión de varias especies para realizar una reacción química. Existen 4 categorías de bacterias que participan en los pasos de conversión de la materia hasta moléculas sencillas como metano o dióxido de carbono y que van cooperando de forma sinérgica, estas son (Corrales *et al.*, 2015):

### 8.14.1. Bacterias sintróficas

**Grupo 1: Bacterias hidrolíticas:** Son un conjunto de bacterias cuya finalidad es romper los enlaces complejos de proteínas, celulosa, lignina o lípidos en monómeros o moléculas como aminoácidos, glucosa, ácidos grasos y glicerol, los cuales pasan al siguiente grupo de bacterias. En este proceso participan principalmente Clostridium y Bacteroides.

**Grupo 2: Bacterias fermentativas acidogénicas:** Las cuales se encargan de convertir azúcares, aminoácidos y lípidos en ácidos orgánicos, alcoholes y cetonas, acetato, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>, siendo Clostridium el microorganismo que se encuentra principalmente realizando este proceso, aunque Lactobacillus y Bacillus, también lo hacen.

**Grupo 3: Bacterias acetogénicas:** Estas solo se desarrollan como productoras de H<sub>2</sub> junto a otras bacterias consumidoras de este. Syntrophobacter wolinii, especializada en la oxidación de propionato, y Syntrophomonas wolfei, que oxida ácidos grasos de 4 a 8 átomos de carbono, convierten el propiónico, butírico y algunos alcoholes en acetato, hidrógeno y dióxido de carbono, el cual se utiliza en la metanogénesis.

**Grupo 4: Bacterias metanogénicas:** son aquellas bacterias capaces de generar gas metano como última fase de la digestión anaerobia descrita anteriormente con una proporción de:

- 40 a 70 % de metano (CH<sub>4</sub>).
- 30 a 60 % de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).
- 0 a 1 % de hidrógeno (H<sub>2</sub>).
- 0 a 3 % de gas sulfhídrico (H<sub>2</sub>S).

### 8.15. Biol

El Biol es un abono orgánico líquido que se origina a partir de la descomposición de materiales orgánicos, como estiércoles de animales, plantas verdes, frutos, entre nosotros, en ausencia de oxígeno. Es una especie de vida (bio), muy fértil (fertilizante), rentable ecológica y económicamente. Contiene nutrientes que son asimilados fácilmente por las plantas haciéndolas más vigorosas y resistentes (Universo Porcino, 2019).

El biol es el resultado de la fermentación del estiércol y agua mediante la descomposición y transformación química de los residuos orgánicos en un ambiente anaeróbico, es decir es un material residual generado a partir de la digestión anaeróbica. Como abono es una fuente de fitorreguladores que ayudan a las plantas a tener un mejor desarrollo de productividad.

### **8.16. Poder Calorífico del Biogás**

Desde el punto de vista del aprovechamiento energético, la biomasa se caracteriza por tener un elevado contenido de oxígeno y compuestos volátiles.

Estos compuestos volátiles (formados por cadenas largas del tipo  $C_nH_m$ , y presencia de  $CO_2$ ,  $CO$  e  $H_2$ ) son los que concentran una gran parte del poder calorífico, este depende mucho del tipo de biomasa considerada y de su humedad. (Coordinación de Energías Renovables, 2008)

El contenido energético de la biomasa suele medirse en términos del poder calorífico del recurso y a su vez el poder calorífico de un combustible se relaciona con la cantidad de calorías que puede producir por la combustión de una unidad de masa, de manera que no solamente la biomasa, sino cada combustible posee un valor con el que se puede comparar con otros de características similares (García, 2001). Estas características propias de la energía almacenada en forma de biomasa determinan los procesos mediante los cuales se realizará la conversión de la misma para la obtención energética.

## **9. VALIDACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTÍFICA**

¿El biogás generado por el biodigestor Solar Cities es realmente eficiente y puede ser utilizado?

No, de acuerdo a las muestras tomadas después de los 56 días de funcionamiento del biodigestor, y la segunda muestra a los 95 días se puede establecer que el biogás con un porcentaje del 18.33% y 21.12% de metano, es pobre, razón por la cual no ha superado la prueba del color de la llama, es decir, este biogás no es apto para la combustión, de acuerdo a FAO (2019) el poder calorífico del biogás puede variar en un rango de 4300 a 6450 kcal/m<sup>3</sup> y aunque es menor que el de otros gases puede usarse para calefacción, cocina, heladeras a gas, lámparas e incluso para generar energía eléctrica y térmica, sin embargo, la pobreza de metano en la muestra, equivale a un bajo poder calorífico. Además, dentro de la muestra analizada se encontró altos niveles de nitrógeno y etano, que representan anomalías en el proceso de digestión.

En este caso, se puede sostener que el biogás es mucho más sostenible, puesto que, proviene del reciclaje de desechos porcinos, aprovecha el metano y así se evita la emanación de GEI generados por las excretas porcinas expuestas, sin embargo, su poder calorífico que representa 8616.35 kcal/m<sup>3</sup> es mucho más bajo que el del GLP 20344.89 kcal/m<sup>3</sup>, esto puede ser causado

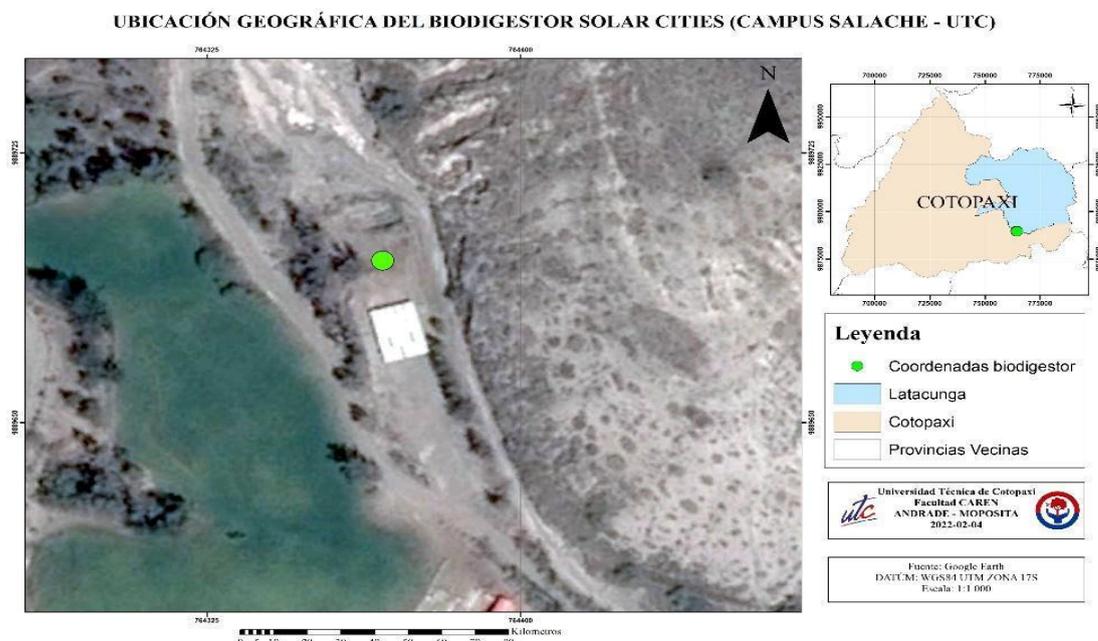
por muchos factores como el tiempo de retención, pH, temperatura, por lo tanto no es funcional por el momento, es necesario realizar nuevos estudios sobre el biogás.

## 10. METODOLOGÍA

### 10.1. Ubicación geográfica del biodigestor

El estudio de la eficiencia del biogás generado por el biodigestor Solar Cities se realizará en el Campus CEASA específicamente en el establo porcino de la Carrera de Veterinaria, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

**Figura 2.**  
*Mapa de ubicación (Campus CEASA)*



Elaborado por: Andrade E. & Moposita A., 2022

### 10.2. Tipos de Investigación

#### 10.2.1. Investigación de campo

Esta investigación se aplicó de manera práctica en el diagnóstico del biodigestor, la recolección de excretas para el funcionamiento del biodigestor, y posteriormente en la recolección de muestras del biogás generado, para analizar su eficiencia por distintas metodologías.

### ***10.2.2. Investigación Analítica***

La investigación analítica permitió analizar e interpretar los resultados del muestreo de biogás para establecer su eficiencia y su poder calorífico.

### ***10.2.3. Investigación Bibliográfica***

Esta investigación permitió acrecentar los conocimientos adquiridos y a la vez dar soporte para el sustento científico de la investigación, aportó en los resultados, conclusiones, y recomendaciones de esta. La información fue recopilada de distintas fuentes como artículos científicos, libros, tesis e investigaciones enfocadas al tema.

La investigación de bibliográfica se realizó en distintas fases las cuales se detallan a continuación:

- **Definición del Problema**

El tema de investigación se definió como “Análisis de la eficiencia de biogás generado por el biodigestor Solar Cities en el Campus CEASA”, adicionalmente, se utilizó esta metodología para dar cumplimiento al tercer objetivo que establece una recopilación bibliográfica sobre características del GLP.

- **Búsqueda de la Información**

Se inició con la búsqueda de información de distintas fuentes como artículos, revistas, libros, blogs, tesis doctorales, etc. El número mínimo de bibliografías se establece en 60 y no existe un máximo para dar soporte a esta investigación.

- **Organización de la Información**

Los elementos encontrados serán organizados por prioridad, desde temas cercanos al tema de investigación, hasta las abreviaturas, evitando la pérdida de información. También, se considera la fecha de publicación dando prioridad a las investigaciones más cercanas a la fecha de realización de este proyecto con un período de 5 años.

- **Análisis de la Información**

La recopilación bibliográfica debe ser analizada de una en una para establecer que información es realmente importante y descartar bibliografía que no de aporte al tema, de esta manera se reducirá el número de bibliografía y esto ayudará a que la redacción sea más organizada y el tiempo de elaboración del proyecto se reduzca.

#### ***10.2.4. Investigación Cualitativa***

Se utilizó esta investigación para establecer características de un biogás de buena calidad, características que definen su eficiencia en comparación al GLP, en base a los resultados, como el poder calorífico, su capacidad de combustión, etc.

#### ***10.2.5. Investigación Cuantitativa***

Esta investigación permitió recolectar datos de temperatura, tipo de sustrato y tiempo de permanencia, que contribuirán a la contestación de la pregunta científica.

### **10.3. Métodos y Técnicas**

#### ***10.3.1. Métodos***

##### **Método Analítico**

Se usó para determinar variables controlables y no controlables, que interfieren en la digestión anaerobia y a su vez afectan la calidad del biogás generado por el biodigestor. Para este estudio se consideraron 4 variables controlables (Temperatura, Tipo de sustrato, Tiempo de permanencia) que se analizarán para el desarrollo de la digestión anaerobia.

##### **Método Deductivo**

Este nos permitió establecer las variables importantes para el funcionamiento del biodigestor y con esto la elección de la excreta adecuada para la producción de biogás. Además, nos ayudó a establecer las técnicas para evaluar la eficiencia del biogás generado.

#### ***10.3.2. Técnicas***

- **Observación**

Se realizaron varias visitas al sitio de ubicación del biodigestor para verificar su estado y funcionamiento en un período de 95 días, y se estableció la recolección de datos sobre las excretas generadas en el establo de crianza porcina.

- **Instrumentos**

Para realizar el diagnóstico del biodigestor Solar Cities, se utilizó un Checklist que es un formato generado para realizar actividades repetitivas, controlar el cumplimiento de un listado de requisitos o recolectar datos ordenadamente y de manera sistemática. (ISOTools, sf).

Mediante el cual, se establecieron partes faltantes y no funcionales que necesitan ser reemplazadas para mantener el diseño original del biodigestor.

### **10.3.3. Herramientas**

Para la digitación de los resultados, se utilizó las herramientas, Software ArcMap 10.5 y AutoCad.

- **Software ArcMap 10.5**

ArcGIS es un programa que nos ayudó para la creación y delimitación del área de ubicación del biodigestor.

- **AutoCad**

Es un software que se utilizó para el diseño del biodigestor readecuado.

## **10.4. Diagnóstico del biodigestor Solar Cities**

### **10.4.1. Identificación del problema**

El biodigestor Solar Cities se encuentra en pésimas condiciones por esta razón, para el desarrollo del proyecto es necesario realizar un estudio del diseño original. Para iniciar con su estudio se utilizó la tesis realizada en 2019, por la señorita Mayra Murillo, quien diseñó y construyó el biodigestor de tipo Solar Cities ubicado en el campus CEASA, para el reciclaje de efluentes de la producción bovina del establo ordeño de la carrera de Veterinaria.

### **10.4.2. Observación directa**

Para realizar esta fase del diagnóstico se elaboró una matriz Checklist con todos los componentes que se establecen en la construcción original del biodigestor Solar Cities, de esta manera se identificaron las piezas faltantes, sus dimensiones, y costos.

**Tabla 6.**

*Modelo de Checklist*

<b>Checklist de partes del BIODIGESTOR SOLAR CITIES</b>			
<b>Materiales</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>Observaciones</b>
2 tanques IBC de 1000 lt.			
1 tubo pvc de 10 cm de ancho			
3 tubo pvc de 1.2 cm x 1 metro			
1 tubo pvc de 7.6 cm de ancho			
2 te 7.6 x 5 cm de ancho			
1 te 1.2 cm de ancho			
2 tapones 7.6 cm de ancho			
3 codos enroscables de 1.2 cm			
1 universal 1.2 cm			
2 bushing 90 x 75			
1 bushing 2 x 1.2 cm			

2 adaptadores macho y hembra  
90  
2 adaptadores macho y hembra  
110  
3 contra tuerca 1.2 cm  
1 válvula 1.2 cm  
2 adaptador f/x 1.2 cm  
1 tapón macho 1.2 cm  
5 manguera bicapa 1.2 cm  
2 abrazadera 30.06  
1 reducción de 15.2 a 10 cm  
2 vidrios 80x60 cm  
1 embudo

---

**Elaborado por:** Andrade E. & Moposita A., 2022

### **10.4.3. Resultados y solución**

Para dar solución a los hallazgos proporcionados por el checklist, se usó el estudio inicial, dónde se detalla la construcción del biodigestor, adicionalmente se realizó una revisión bibliográfica sobre el biodigestor Solar Cities, para poder restaurarlo y mantener su diseño inicial, también se utilizó el programa AutoCad, para elaborar su diseño una vez restaurado.

## **10.5. Variables controlables escogidas para la investigación**

### **10.5.1. Temperatura**

Se llevó un registro de la temperatura ambiente que se presenta en el campus CEASA, específicamente en el lugar de asentamiento del biodigestor, con la ayuda de un termómetro digital.

### **10.5.2. Tipo de sustrato**

Se ha escogido como sustrato las excretas de cerdo por su potencial para generar biogás y por la facilidad para manejar el estiércol ya que el mismo se apila a un lado de la chanchera, de esta manera se establecerá un total de cerdos pertenecientes al establo del campus CEASA.

**Tabla 7.**  
*Relación biogás – Tiempo de retención*

<b>Fuente</b>	<b>Excreta diaria (kg) por animal</b>	<b>Volumen de biogás por día (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Proporción excreta / agua</b>	<b>Tiempos de retención (días)</b>
Cerdo	2.5	0.135	1:3	30 – 45

**Fuente:** (Cruz, 2017); (Basurto & Corrales, 2017)

**Elaborado por:** Andrade E. & Moposita A., 2022

Para realizar el cálculo de generación de excretas por día. Se estableció la siguiente fórmula. (Cevallos & Ramos, 2009)

$$Ecd = PA \times CA \quad Ec. (1)$$

Donde:

**PA :** Total de animales

**CA:** Cantidad de excreta generada por cerdo

### 10.5.3. *Tiempo de permanencia*

El tiempo de permanencia se ha establecido con relación a la temperatura del sitio de ubicación y el tipo de sustrato (en este caso excretas de cerdo). Por lo cual, de acuerdo con (Infante, 2006) para esta investigación se ha determinado de 30 – 60 días de retención del sustrato con relación a las temperaturas presentadas en el cantón.

### 10.6. **Carga del biodigestor**

De acuerdo con Basurto & Corrales (2017) antes de calcular el volumen del digestor es importante conocer el tiempo de permanencia, para el estiércol de cerdo se recomienda un TP de 30 a 45 días. Además, se debe establecer la disponibilidad de excretas como se muestra a continuación:

**Tabla 8.**

*Disponibilidad de materia prima*

Bovino adulto estabulado	30 Kg/día
Bovino adulto semi estabulado	15 Kg/día
Porcino ( $\pm$ 50 Kg)	2.5 kg/día
Aves (2 Kg peso)	0.12 Kg/día
Caballo	12 g/día

**Fuente:** (Cevallos & Ramos, 2009)

Para dar inicio con el funcionamiento del biodigestor se estableció un porcentaje de carga de estiércol – agua. Según Cruz (2017) el estiércol recolectado se manejará en la proporción 1:3 (1 kg de estiércol porcino y 3 litros de agua) para su respectiva dilución y posterior funcionamiento del biodigestor.

**Tabla 9.**

*Relación estiércol: agua*

Estiércol	Relación estiércol – agua
Cerdo	1:3

**Fuente:** (Cruz, 2017)

Con respecto a la operación del biodigestor para evitar atascamientos con masas, formaciones de nata en su superficie y asegurar la operación, se requiere diluir el estiércol con agua. Esto no solo evita los problemas mencionados, además mejora la producción de biogás. La dilución debe realizarse de manera que no existan pedazos de excreta para que el desarrollo bacteriano se dé adecuadamente. (Cuenca, 2017) (Castro, L *et al.*, 2019)

Como el biodigestor es discontinuo se utilizará una sola carga, de acuerdo con la producción de materia prima y al cambio del tanque B, se utilizará solo el 25% de la capacidad de carga estimada, dando un total de 300 kg/L de mezcla con la que se cargará el biodigestor. Para su carga se establece la siguiente fórmula:

$$V_c = E_{cd} + 3E_{cd} \quad Ec. (2)$$

Dónde:

**V<sub>c</sub>**: Valor de carga

**E<sub>cd</sub>**: Estiércol de cerdo

**3E<sub>cd</sub>**: Cantidad de agua a mezclar con el sustrato

### 10.7. Cálculo de producción de biogás

A continuación, se presenta una tabla con el valor de producción de biogás por día del estiércol porcino:

**Tabla 10.**

*Valor de producción de biogás/ kg de excreta*

<b>Valor de producción de biogás</b>	
1 kg de estiércol porcino	0,140 m <sup>3</sup> de biogás

**Fuente:** Cevallos & Ramos (2009)

De acuerdo con Cevallos & Ramos (2009) para el cálculo de producción de biogás para estiércol porcino/ día = 0.14 m<sup>3</sup> de Biogás, se usa la siguiente fórmula para el cálculo de biogás que generará el biodigestor Solar Cities.

$$SD = E_{cd} \times 0.14 \quad Ec. (3)$$

Dónde:

**SD**: Producción de biogás por día

**E<sub>cd</sub>**: Estiércol de cerdo

### **10.8. Caracterización del estiércol de cerdo**

El estiércol de cerdo fue enviado al laboratorio ANIMALAB para su análisis bromatológico en donde se analizó Humedad, Sólidos Totales, Sólidos Volátiles, Nitrógeno.

### **10.9. Metodología para toma de muestras de estiércol**

Para la toma de muestra del estiércol se estableció la metodología de Agrocalidad INT/DA/019 acerca de la “Toma y envío de muestras en animales domésticos”.

#### ***10.9.1. Toma de muestra***

1. Las muestras de heces deben ser frescas. De preferencia tomar la primera deposición de la mañana.
2. Utilizar guantes quirúrgicos para tomar la muestra en la bolsa o frasco hermético.
3. La muestra debe ser de por lo menos 1 o 2 g.
4. El envío al laboratorio será en el menor tiempo posible.

### **10.10. Metodología para toma de muestras de biogás**

No existe Normativa Ecuatoriana para la toma de muestras de biogás por lo que, se utilizó la Norma Internacional NTP 117: Toma de muestra de gases y vapores con bolsas. Norma general. (Ministerio de Trabajo y asuntos sociales de España, 1984) para el muestreo del biogás.

#### ***10.10.1. Técnica de muestreo***

1. Dejar escapar un poco de gas antes de recolectar la muestra.
2. Tomar la bolsa Tedlar, abrir la válvula y llenarla
3. Al llenarla con una cantidad generosa de gas, se debe cerrar la válvula y agitar suavemente la bolsa, para que el biogás se homogenice.
4. Después de soltar el gas, repetir esto 2 o 3 veces más de acuerdo a la disponibilidad del gas, para esterilizar la bolsa de residuos ajenos a la muestra del biogás.
5. Al llenar la bolsa Tedlar, se debe considerar que no debe ser llenada a toda su capacidad, puesto que esta puede explotar.
6. Una vez recogida la muestra, se debe colocar en un ambiente fresco, sin contacto directo con el sol.
7. La muestra puede durar 48 horas, antes de llegar al laboratorio, siempre que su manejo y conservación sea adecuado.

## 10.11. Métodos utilizados para definir la eficiencia del biogás

### 10.11.1. Prueba del color de la llama

Según Flores & Rodríguez (2020) para realizar esta prueba, se acopla una manguera para la salida de gas desde el tacho reservorio y utilizando una cocineta o soplete, se prueba si el gas enciende. Si el gas quema con una llama azul mantiene un estándar alto y se considera de buena calidad estableciendo un valor de metano entre 90% a 70%, si la llama es naranja su calidad se ve medianamente eficiente con un porcentaje de metano entre 70% a 50% y si la llama es amarilla se trata de un biogás pobre con un valor estimado de metano entre 50% a 30%, y si los valores descienden de los ya mencionados, el biogás es realmente pobre haciendo imposible la combustión por ausencia de metano.

**Tabla 11.**

*Prueba de color de la llama para la identificación del metano en el biogás*

Color de la llama					
Azul	(Excelente	Naranja	(Mediana	Amarilla	(Mala
combustión)		combustión)		combustión)	
90 % - 70 %	Metano	70 % - 50%	Metano	50 % - 30 %	Metano

**Fuente:** (Flores & Rodríguez, 2020); (Monteros et al., 2017).

**Elaborado por:** Andrade E. & Moposita A., 2022

## 10.12. Método de cromatografía de gases

### 10.12.1. Caracterización del biogás

Para realizar la caracterización del biogás, se envió una muestra al laboratorio de Instrumentación de Química de la Escuela Politécnica Nacional, en dónde se analizó la muestra con un cromatógrafo de gases clarus 500 perkin-elmer (Guamanquispe & Perdomo, 2018).

- **Cromatógrafo de gases clarus 500 perkin-elmer**

Equipo que permite la separación de compuestos orgánicos volátiles, con detector de ionización de llama (FID, "Flame Ionization Detector") y detector de conductividad térmica (TCD, "Thermal Conductivity Detector"). El equipo dispone de un muestreador automático con 82 muestras. La medida de las muestras no puede ser superior a 2 ml (Guamanquispe & Perdomo, 2018).

- **Características del cromatógrafo**

- ✓ Válvulas con accionamiento neumático que controlan la circulación de la muestra y de los gases portadores.
- ✓ Elementos detectores.
- ✓ Columnas analíticas
- ✓ Un bloque calefactor con control de temperatura (Guamanquispe & Perdomo, 2018)

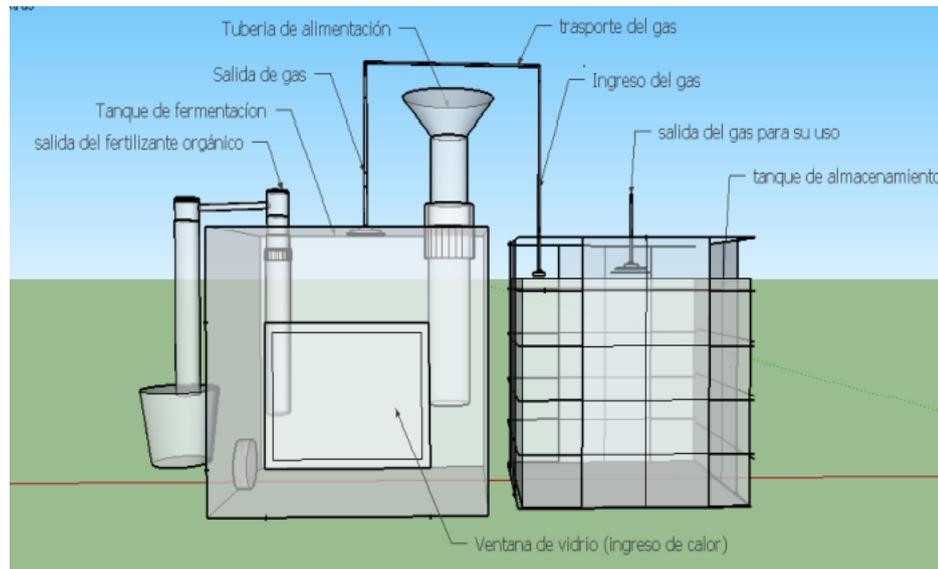
## **11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **11.1. Diagnóstico, resultados y restauración del biodigestor Solar Cities**

El biodigestor Solar Cities se encontraba abandonado desde el año 2019 en el criadero porcino de la Carrera de Veterinaria, para empezar con su funcionamiento fue necesario realizar algunas restauraciones que se identificaron con un checklist Anexo 1. La Figura 3 muestra el diseño original del biodigestor Solar Cities.

Para complementar el análisis del diseño inicial se estableció una recopilación bibliográfica sobre los orígenes del biodigestor, sin éxito, pues en la página de los creadores del biodigestor Solar Cities no existen datos sobre qué tipo de biodigestor es, ni de sus parámetros de diseño, como menciona Engels (2020), si bien la información sobre este biodigestor es mínima (en línea), es difícil comprender completamente las realidades del uso. Es como si la información se enfatizara en el hecho de que la producción de biogás es posible. De eso no tenemos dudas, pero se ha convertido en un problema que no hay muchos otros detalles relevantes. Así que, en este caso se considera el trabajo de Murillo, 2019 como un primer estudio de diseño y parámetros de funcionamiento del biodigestor Solar Cities.

**Figura 3.**  
*Diseño inicial del biodigestor Solar Cities (Vista frontal)*



**Fuente:** (Murillo, 2019)

**Nota:** El biodigestor Solar Cities diseñado en el año 2019, contaba con dos tanques IBC (A y B), tubos de pvc de 7.6, 10 y 15.2 cm, tubos pvc de 1.2 cm ancho, 2 codos de 1.2 cm de ancho, una unión 1.2 cm de ancho, una de te de 7.6 cm a 5 cm de ancho.

### 11.1.1. Estado del biodigestor

Al estar abandonado por tanto tiempo, el biodigestor Solar Cities se encontraba incompleto, pues, ninguno de los sistemas se encontraba acoplados al mismo, para reanudar su funcionamiento era necesario restaurar piezas y revisar los tanques IBC.

**Figura 4.**  
*Estado inicial del biodigestor Solar Cities*



**Elaborado por:** Andrade, E & Moposita, A. (2022)

El tanque de fermentación, dónde se encuentran los sistemas de entrada del efluente, salida del fertilizante, salida del gas, fueron revisadas a detalle y no presentaban mayores problemas, sin embargo, el tanque de almacenamiento del biogás se encontraba totalmente roto, lleno de

basura y agua producto de la lluvia. Por lo que era necesario reemplazarlo. Además, se mantuvo el sitio de ubicación del biodigestor, puesto que, se encuentra a 20 m del criadero de cerdos, lo que hace más factible y rápido el transporte del estiércol al biodigestor.

### ***11.1.2. Restauración***

#### **Sistema 1: Entrada del efluente**

Se inició con la restauración de piezas para dar funcionamiento al biodigestor, en primer lugar, se limpió el tanque de fermentación, por dentro y por fuera, se eliminó insectos y hierbas, además, se realizó un enjuague por dentro para eliminar cualquier otro elemento. Se reforzó las partes existentes en el tanque de fermentación con el uso de pega permatex y teflón para gas, de esta manera se busca evitar las fugas de gas, posteriormente se analizó las dimensiones de las conexiones de cada sistema y se verificó que correspondan al diseño inicial. Se conservó el acondicionamiento de poliuretano y la ventana de doble vidrio colocadas inicialmente, para conservar el calor y mantener la temperatura del biodigestor, puesto que este se mantuvo a la intemperie, en el desarrollo de esta investigación.

#### **Sistema 2: Salida del fertilizante**

En este sistema se restauró utilizando 1 tubo pvc de 5 cm de ancho por 33 cm de largo, 1 tubo pvc de 7.6 cm de ancho y 81 cm de largo, un aumento de 2.5 a 5 cm de ancho y un codo de 5 cm, se mantuvo el diseño que se encuentra dentro del tanque para el ascenso del biol, al final del tubo se colocó un tapón de 5 cm. Dentro de este sistema se encontró inconsistencias en su diseño, puesto que, la salida del fertilizante se encuentra arriba y no en medio, cercana a la producción del biol, es decir que no se consideró la altura máxima de producción del fertilizante previo a su construcción, esto y la diferencia de presiones hace imposible que el biol suba y caiga a la superficie, por lo tanto, en este caso el biol no se podrá obtener.

**Figura 5.**  
*Sistema 2 restaurado*



**Elaborado por:** Andrade, E & Moposita, A. (2022)

### **Sistema 3: Tubería salida de gas**

En su restauración se utilizó 3 m de tubo de PVC de 1.2 cm de ancho, 2 codos de 1.2 cm de ancho, una universal de 1.2 cm de ancho conectándose hacia el tanque.

### **Sistema 4: Ingreso del gas**

#### **Tanque de almacenamiento**

Considerando que este biodigestor fue construido como alternativa energética y económica para los sectores rurales, se reemplazó el tanque de almacenamiento por uno más económico que cumple la misma función y con una capacidad de 100 litros, se lo instaló a la misma altura del tanque fermentador. El tanque de almacenamiento cuenta con dos sistemas de entrada y salida del gas. Para su restauración se utilizó, 2 codos de 1.2 cm de ancho, una universal de 1.2 cm de ancho que se une con el sistema de salida del gas del tanque fermentador.

### **Sistema 5: Salida del gas**

En la tapa del tanque de almacenamiento se realizó un orificio de 1.2 cm de ancho, con una salida de tubo de PVC de 1.2 cm de ancho, un codo de 1.2 cm, una válvula de 1.2 cm y una manguera bicapa de 1.2 cm. Una vez armado todos los sistemas de entrada y de salida se selló herméticamente todas las uniones con pega permatex y pegatubo para evitar la fuga de gas.

**Figura 6.**  
*Sistema 3, 4, 5 y tanque de almacenamiento*

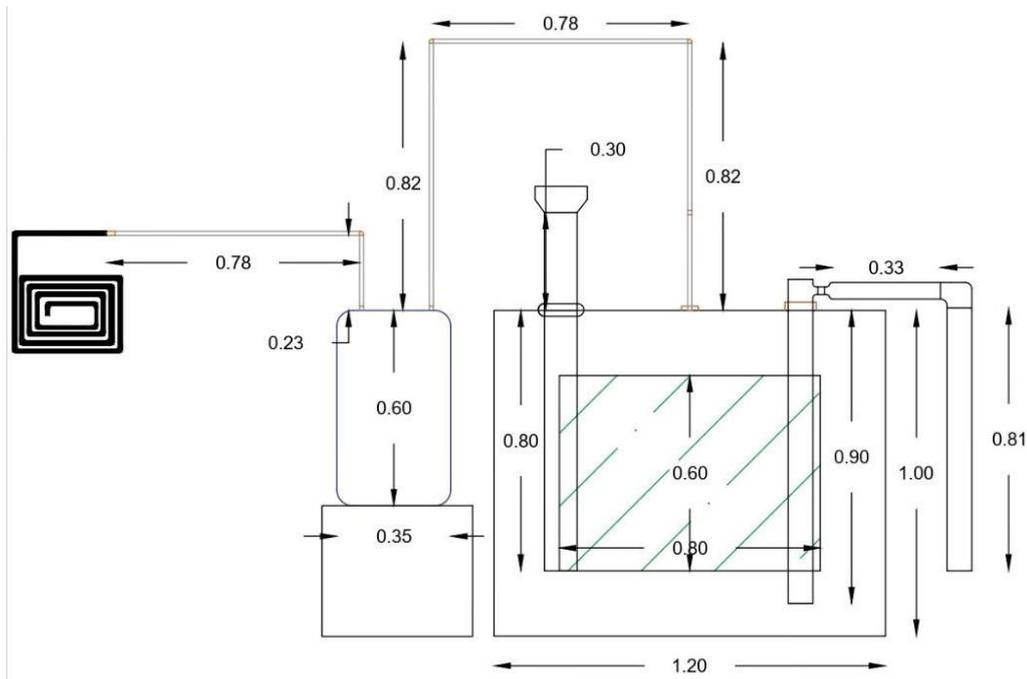


**Elaborado por:** Andrade, E & Moposita, A. (2022)

### ***11.1.3. Diseño del biodigestor Solar Cities restaurado***

Para realizar el diseño, se tomaron todas las dimensiones del biodigestor y se utilizó el programa AutoCad. Las dimensiones establecidas en la readecuación del biodigestor son las siguientes 2 tubos pvc de 1.2 cm de ancho y 82 cm de largo, 2 tubos pvc de 1.2 cm de ancho y 78 cm de largo, 1 tubo pvc de 1.2 cm de ancho y 23 cm de largo, 1 tubo pvc de 5 cm de ancho y 33 cm de largo, 1 tubo pvc de 7.6 cm de ancho y 81 cm de largo, 3 codos de 1.2 cm, 1 unión de 1.2 cm, una llave para gas de 1.2 cm 1 tanque de 100 L, 2 abrazaderas de 1.2 cm y 2 m de manguera bicapa. Cuando se diseñó el biodigestor Solar Cities se estableció la capacidad de carga en 600 L y los 600 L restantes servirá para la captación del biogás, pues su volumen es de 1200L, sin embargo, en este estudio, se realizó un cambio del tanque de almacenamiento por lo que fue necesario calcular nuevamente la capacidad de carga en base a la generación de biogás estimada.

**Figura 7.**  
Diseño actual del biodigestor Solar Cities (Vista frontal)



Fuente: Andrade E. & Moposita A., 2022

Después de realizar las restauraciones pertinentes y de estudiar su diseño se estableció que el biodigestor Solar Cities es un biodigestor de tipo discontinuo, pues no cuenta con una salida del efluente, además su diseño es de difícil manejo para realizar varias cargas, por lo tanto su mantenimiento genera costos más elevados, como menciona Miranda (2018) los biodigestores discontinuos o intermitentes son contenedores cerrados que una vez cargados no permiten extraer o añadir más sustratos hasta que finalice el proceso completo de biodegradación y producción de biogás, el proceso finaliza cuando no se produce más biogás.

## 11.2. Funcionamiento del biodigestor

Para esta investigación se estableció cargar el biodigestor al 25 % de su capacidad, es decir 300 kg/L conformados de (75 kg de excretas y 225 L de agua), esto se consideró en vista de la poca disponibilidad de excretas porcinas para el día que comenzó su funcionamiento, ya que, la mayoría de estas habían sido utilizadas para compost dentro del campus y a que se reemplazó el tanque de almacenamiento con uno de 100 L que encaja con la producción de biogás calculada.

### 11.2.1. Temperatura

Se obtuvo un promedio de 16, 89 °C después de los 95 días de estudio como se visualiza en el Anexo 6. Esta temperatura se ve afectada por los últimos 4 días que se presentan valores de 6

°C; 4°C; 5°C; 5 °C, un descenso de la temperatura, implica un descenso en la actividad microbiana de la digestión anaerobia, a pesar de que el biodigestor Solar Cities cuenta con un recubrimiento y una ventana de vidrio para conservar calor, el descenso en la producción de biogás es evidente, como lo manifiesta Santa Fe (2019) en su investigación “ el biodigestor cuenta con una aislación térmica considerable, sin embargo esto no evita que el contenido del mismo experimente temperaturas bajas cuando la externa sea menor a 10°C. En esta situación es esperable que la actividad de los microorganismos descienda”. Por lo tanto, el descenso de la producción de biogás se debe a las temperaturas bajas que se han registrado desde finales del mes de marzo.

### 11.2.2. Tipo de sustrato

Se estableció el estiércol de cerdo para cargar el biodigestor, como menciona Osorio. *et al.*, (2007) las excretas porcinas son muy interesantes desde el punto de vista de la digestión anaerobia, no solo por su alta capacidad de producir metano, sino también por su alta concentración de nutrientes con respecto a otros sustratos, lo que les confiere buenas características como abono agrícola, especialmente después de la biodigestión. Para establecer sus propiedades se establecen resultados de su caracterización que figuran en la Tabla 12:

**Tabla 12**  
*Caracterización del estiércol de cerdo utilizado*

Parámetros	Unidad	Resultado
Humedad	%	26.23
Sólidos Totales	%	42.44
Nitrógeno kg/m <sup>3</sup> /t	%	25.69
Sólidos Volátiles	%	23.12
pH Solución al 10%	%	7.8

Dentro de los resultados de la caracterización del estiércol se define al mismo con un olor y color característico al estiércol de cerdo normal y su estado como sólido, que establece que el estiércol tiene características típicas y adecuadas al de un cerdo sano. Para establecer sus características previo a su ingreso en el biodigestor la FAO (2011) define un 40 a 60% de sólidos totales presentes en el sustrato para el buen funcionamiento de un biodigestor de tipo discontinuo, en este caso el estiércol porcino presenta un valor de 42.44%, encontrándose dentro de los niveles establecidos. El valor de Nitrógeno se establece en 25.69% y su valor óptimo es de 16%, por lo que este valor es elevado y puede generar que el sustrato se torne alcalino. Con un pH de 7.8 se encuentra dentro del rango establecido de acuerdo a lo que manifiesta Monteros *et al.*, (2017) el nivel óptimo para los diferentes grupos bacterianos es entre 5.5 y 6.5 para acidogénicos y entre 7.8 y 8.2 para metanogénicos. Dentro de los sólidos

volátiles se establece un rango de 1% al 30%, el resultado de 23.12 % se mantiene dentro del rango establecido, por lo que los parámetros se cumplen para el desarrollo de la digestión anaerobia.

### **11.3. Carga del biodigestor para la generación de biogás**

#### ***11.3.1. Cálculo de la cantidad total de estiércol***

Dentro del criadero del campus CEASA se encontró 17 ejemplares de cerdo que de acuerdo con su edad generan cada uno 2.5 kg/día de estiércol, después de aplicar la *Ec. (1)* se establece un valor de 42.5 kg/día que representa la cantidad de sustrato de la que se dispondrá a diario en el campus, sin embargo, al ser un biodigestor de tipo discontinuo, se establece una sola carga, para el funcionamiento del biodigestor.

#### ***11.3.2. Cálculo para la carga del biodigestor***

La *Ec. (2)* establece la carga del biodigestor con un resultado de 300 kg/L de mezcla que representa el 25% de la capacidad del biodigestor Solar Cities, esta mezcla mantuvo una relación 1:3 (75 kg de estiércol de cerdo por 225 L de agua), de acuerdo con la Tabla 9, por lo tanto, los 75 kg (Ecd) de estiércol fueron recogidos en dos días, luego se agregó 225 L de agua, para diluir el sustrato previo a su ingreso al biodigestor.

#### ***11.3.3. Cálculo de producción biogás por día***

Para determinar la cantidad total de energía debemos conocer la cantidad de biogás que produce 1kg de estiércol porcino, en relación con la Tabla 10 la producción de biogás para estiércol porcino es de 0.14 m<sup>3</sup> de biogás. Al aplicar la *Ec. (3)* se obtuvo un valor de 10.5 m<sup>3</sup>/kg que es la cantidad estimada de biogás que se generará de acuerdo con la carga 300 kg/L.

### **11.4. Prueba del color de la llama**

Transcurrido un mes de la carga inicial, se verificó el inicio de producción de biogás, por medio de la “prueba del color de la llama”. Esta metodología es simple y sirve para comprobar de forma cualitativa la generación de biogás en forma directa, se realizaron 3 pruebas con distintos objetos.

**Tabla 13.***Prueba de llama para la identificación del metano en el biogás*

Pruebas	Fecha (dd/mm/aa)	Color de la llama		
		Azul (Excelente combustión) 90 % - 70 % Metano	Naranja (Mediana combustión) 70 % - 50% Metano	Amarilla (Mala combustión) 50 % - 35 % Metano
		#1 Cocineta	13/02/2022	--
#2 Soplete	16/02/2022	--	--	X
#3 Soplete	02/03/2022	--	--	X

Elaborado por: Andrade E. &amp; Moposita A., 2022

El resultado para las dos pruebas con soplete arrojó una llama amarillenta muy pobre en combustión, lo que de acuerdo con Flores & Rodríguez (2020) representa un metano pobre y que no puede ser utilizado.

**Figura 8.***Prueba con la cocineta*

Elaborado por: Andrade E. &amp; Moposita A., 2022

La primera prueba realizada el día 13 de febrero con una cocineta, fue fallida, puesto que el gas no tenía presión suficiente para realizar combustión, además de que denota la pobreza del biogás.

**Figura 9.**

*Prueba #1 de color de la llama (Amarilla) con soplete*



**Elaborado por:** Andrade E. & Moposita A., 2022

La segunda prueba se realizó el día 16 de febrero con un soplete ya que el gas circula de mejor manera, hubo una pequeña combustión de apenas 2 segundos y se apreció una pequeña llama de color amarilla demostrando la pobreza del biogás.

**Figura 10.**

*Prueba #2 de llama (Amarilla) con soplete*



**Elaborado por:** Andrade E. & Moposita A., 2022

La tercera prueba se realizó el día 2 de marzo, como se observa en la Figura 11 la llama es más fuerte y su color un poco más amarillo-anaranjado durando 3 segundos, lo que una vez más confirma la pobreza del biogás generado por el biodigestor.

### 11.5. Cromatografía de Gases

Después de recibir los resultados del laboratorio se definen los siguientes valores de caracterización del biogás:

**Tabla 14.**  
*Resultados de la muestra #1 de biogás día 56*

<b>Condiciones de trabajo</b>			
<b>Temperatura y % HR ambiente:</b>	19.4 °C	52.8%	
<b>Temperatura de muestra:</b>	66.20 °F		
	19.00 °C		
<b>Resultados</b>			
<b>Composición</b>	<b>Componente</b>	<b>% Peso</b>	<b>% Moles</b>
	<b>Oxígeno</b>	1.01	0.80
	<b>Nitrógeno</b>	35.53	31.98
	<b>Metano</b>	18.33	28.99
	<b>Dióxido de carbono</b>	0.12	0.07
	<b>Etano</b>	45.23	38.16

**Elaborado por:** Andrade E. & Moposita A., 2022

Para el primer resultado con una temperatura ambiente de 19.4 °C, una HR de 52.8% y una temperatura de la muestra de 19 °C se obtiene un valor de 18.33% de metano, lo que establece una pobreza en el biogás generado; 35.53% de Nitrógeno que se considera un valor alto, y se mantiene en relación con el porcentaje alto que resulta del análisis del estiércol, además se presenta un porcentaje de etano de 45.23% lo que sugiere anomalías en el proceso de digestión anaerobia.

**Tabla 15.**  
Resultados de laboratorio de la muestra #2 de biogás día 95

<b>Condiciones de trabajo</b>			
<b>Temperatura y % HR ambiente:</b>	16.0 °C	40.8%	
<b>Temperatura de muestra:</b>	64.40 °F		
	18.00 °C		
<b>Resultados</b>			
<b>Composición</b>	<b>Componente</b>	<b>% Peso</b>	<b>% Moles</b>
	<b>Oxígeno</b>	1.00	0.79
	<b>Nitrógeno</b>	31.56	28.03
	<b>Metano</b>	21.12	31.88
	<b>Dióxido de carbono</b>	0.20	0.15
	<b>Etano</b>	46.12	39.15

**Elaborado por:** Andrade E. & Moposita A., 2022

Con la cromatografía realizada podemos establecer que, el biogás obtenido del biodigestor mantiene niveles pobres en gas metano con un resultado de 21.12% en el segundo análisis realizado al día 95, así se puede confirmar que el biogás obtenido es ineficiente debido a sus bajos niveles de metano, como manifiesta Malacatus *et al.* (2017) en su estudio sobre el potencial del biogás en el cual se establecen valores entre el 50% - 60% de metano presente en el biogás, para que este sea considerado un biogás eficiente. El nitrógeno con un porcentaje de 31.56% se ha reducido, esto puede generarse por el aumento del tiempo de retención en el proceso de digestión, así también, el etano presenta un valor de 42.12 % que es mucho más bajo que el del primer estudio, sin embargo, sigue superando al porcentaje de metano.

Existen varios factores que generan la deficiencia de metano en el biogás, de acuerdo con Cuenca (2017) el bajo contenido de metano puede deberse a la mala dilución de las excretas, el descenso del pH, una mala digestión anaerobia provocada por entradas de oxígeno, y los cambios bruscos de temperatura, puesto que, un acondicionamiento no garantiza que la temperatura interna del biodigestor se mantenga adecuada para el desarrollo de los microorganismos.

## 11.6. Poder calorífico

En la Tabla 16, se compara el poder calorífico del biogás generado y el poder calorífico del GLP, para establecer sus diferencias.

**Tabla 16.**

*Comparación de Poder calorífico del GLP con los resultados obtenidos*

	Temperatura °C	Poder Calorífico Superior (kcal/m <sup>3</sup> )	Poder Calorífico Inferior (kcal/m <sup>3</sup> )
<b>GLP</b>	17.58	22400	10830
<b>BIOGAS (#1)</b>	19.00	8616.35	7844.97
<b>BIOGAS (#2)</b>	18.00	9763.05	8365.44

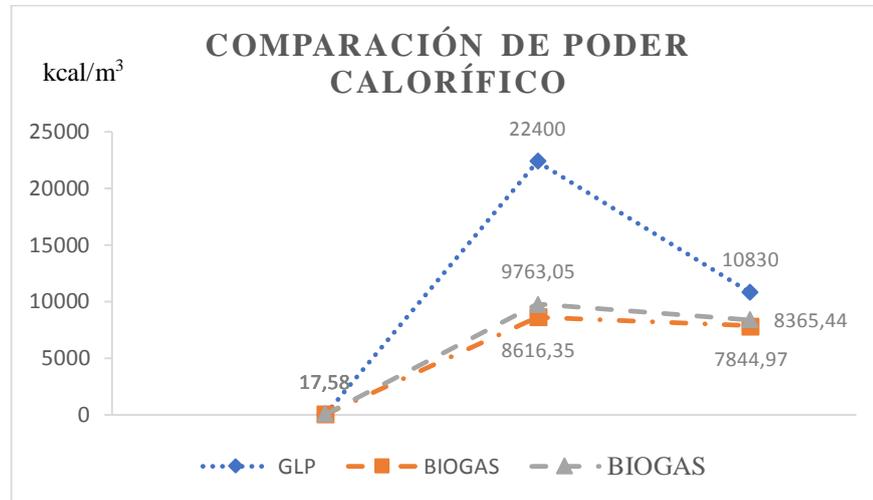
**Fuente:** (Moncayo, 2017); (LojaGas, sf)

**Elaborado por:** Andrade E. & Moposita A., 2022

Para realizar la comparación del poder calorífico del GLP con el del biogás obtenido se ha transformado los valores de KJ/m<sup>3</sup> a Kcal/m<sup>3</sup>, estableciendo valores de 8616.35 Kcal/m<sup>3</sup> y 9763.05 Kcal/m<sup>3</sup>, que contrario al poder calorífico superior del GLP con 22400 Kcal/m<sup>3</sup>, son valores bajos, por lo tanto, su capacidad energética descende, demostrando que actualmente el biogás generado por el biodigestor Solar Cities no es apto para uso doméstico. A continuación, se presenta una gráfica que representa la diferencia entre el poder calorífico del GLP y el biogás obtenido en esta investigación.

**Gráfico 2.**

*Comparación del Poder Calorífico GLP - Biogás*



Elaborado por: Andrade E. & Moposita A., 2022

La comparación realizada entre los poderes caloríficos del GLP y Biogás obtenido, nos ratifica la pobreza del biogás, como expresa Moncayo (2017) el biogás es un combustible natural, no fósil, de alto poder calorífico dependiendo del contenido de gas metano ( $\text{CH}_4$ ), por lo tanto, este biogás no genera combustión y no puede ser usado como calentador y mucho menos tendría algún tipo de uso en otros campos, imposibilitando la realización de cualquier prueba referente a su combustión.

De acuerdo con Jiménez (2016) el requerimiento de aire mínimo para una combustión completa ideal es del 21% aun así, esta cifra debe ser aumentada para lograr una óptima combustión. La relación aire-gas puede ser optimizada aumentando la presión del aire, esto se logra incrementando la apertura de la válvula dosificadora de gas, por lo tanto, el biogás requiere de una apertura 2 a 3 veces mayor a la utilizada por el gas licuado del petróleo (GLP).

En la siguiente tabla, se pueden apreciar los valores óptimos de poder calorífico de un biogás de buena calidad y enriquecido en metano, frente a otros combustibles.

**Tabla 17.**

*Poder calorífico de varios combustibles*

Combustible	Poder Calorífico ( $\text{kcal/m}^3$ )
Biogás	51135.18 (60% $\text{CO}_2$ y 40% $\text{CH}_4$ )

Gas Natural	7963.12
Metano	8837.29
GLP	20344.89
Gasolina	35.574
Diésel 2	9236.88

---

**Fuente:** Flores & Rodríguez, 2013

El poder calorífico del biogás lo convierte en un buen combustible, tanto en aplicaciones domésticas (estufas, lámparas, refrigeración, etc.), como en aplicaciones industriales (calderas, motores, etc.) (Escobedo, 2011). El biogás puede ser usado en el hogar, principalmente en la cocción de alimentos, de acuerdo a la investigación realizada por Mendoza (2017) al usar el biogás para calentar 2 galones de agua a 80 °C se emplea un tiempo de 23 minutos, comparado con el tiempo del GLP en mismas condiciones que es de 17 minutos y medio, la diferencia se debe al poder calorífico de ambos gases, aun así, el biogás se mantiene como sostenible y cumple con las funciones del gas doméstico normalmente.

Además, representa un ahorro de dinero limitando o a su vez eliminando la compra de cilindros de GLP doméstico, el biogás podría utilizarse hasta 12 horas diarias para proveer a una familia de 5 a 8 miembros. También se lo podría utilizar en la producción de energía eléctrica ahorrando en el consumo de energía eléctrica de la red estatal (Apolo, 2005).

### **11.7. Comparación de las características del GLP y Biogás**

En la siguiente tabla se establece una comparación de las propiedades del biogás con el GLP en base a su color y olor. Aquí se establece que el GLP a pesar de ser un gas inodoro, para ser percibido debe ser reforzado con Mercaptano y de esta manera evitar fugas de gas en los sitios dónde se lo utiliza, en comparación al biogás que mantiene un olor característico a huevo podrido cuando se trata de estiércol porcino, y su olor se definirá de acuerdo al sustrato utilizado para su obtención, siempre y cuando este no haya sido desulfurado y purificado, de lo contrario pasa a mantenerse inodoro.

**Tabla 18.**  
*Comparación de propiedades entre GLP y Biogás*

<b>Propiedades</b>	<b>GLP</b>	<b>Biogás del Biodigestor Solar Cities</b>	
<b>Color</b>	Incoloro	Incoloro	Incoloro
<b>Olor</b>	Característico, reforzado por derivados sulfurados (Mercaptano)	A huevo podrido, dependiendo del sustrato	A huevo podrido, dependiendo del sustrato

**Fuente:** (Moncayo, 2017)

**Elaborado por:** Andrade E. & Moposita A., 2022

La generación de biogás a partir de estiércol porcino puede resultar un gran beneficio, pues llegaría a ser fuente de empleo, siendo una motivación para moradores cercanos a la universidad, y una estrategia para mitigar la contaminación de los afluentes cercanos por su mal tratamiento. Arrieta (2016) describe que los beneficios económicos de la utilización de biodigestores están asociados al reemplazo parcial o total del combustible utilizado para cocinar (GLP) y de los fertilizantes químicos que pueden utilizar los pequeños agricultores rurales.

## **12. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)**

### **12.1. Impactos Técnicos**

La readecuación del biodigestor Solar Cities permitió su funcionamiento, y posterior análisis del biogás generado, sin embargo, el biodigestor tiene varios aspectos que resultan negativos, y han generado errores de tipo II, afectando indirectamente a los resultados de esta investigación, el diseño debe ser reestructurado, de manera que beneficie a la comunidad educativa.

### **12.2. Impactos Sociales**

Esta investigación aporta datos importantes para la generación de biogás en el campus CEASA, a partir del reciclaje de excretas porcinas, a las cuales se les puede incrementar el uso de las excretas ganaderas y otros tipos de materia orgánica, por lo tanto, a futuro puede convertirse en una fuente de generación de energía limpia que contribuya al desarrollo

sostenible de las actividades pecuarias en el campus, este biodigestor se puede usar de manera recurrente y a gran escala.

### **12.3. Impactos Ambientales**

La instalación de este biodigestor de manera permanente contribuye a la reducción de emisiones de metano que se generan por el mal manejo de las excretas y desechos generados de las actividades pecuarias, además contribuye a la disminución de olores y el esparcimiento de plagas por la acumulación de desechos en los criaderos de cerdos. El biogás generado resulta ser una fuente de energía totalmente eficiente y limpia, que puede reemplazar en muchas actividades al GLP derivado de combustibles fósiles, además este es una solución a los problemas energéticos en los sectores rurales.

### **12.4. Impactos Económicos**

La actividad pecuaria dentro del campus y en la provincia es una de las fuentes de ingreso económico más rentable, por lo tanto, crece en medida que la población crece, razón por la cual, la ganadería y actividades dedicadas a la cría de animales son un problemas de mal manejo de desechos, el hecho es que no desaparecerán, pues muchos pobladores sobreviven económicamente de esto, con esta investigación, se busca dar a conocer una propuesta sostenible, que ayude a generar ingresos cuidando el medio ambiente y a la vez reducir costos en el gasto de energía, o a su vez solucionar problemas energéticos, sin inversiones elevadas de dinero.

### 13. PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

**Tabla 19**

*Presupuesto para el análisis de eficiencia de biogás*

RECURSOS	DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR UNITARIO \$	VALOR TOTAL
<b>Recursos Humanos</b>	Alimentación	56	2.25	126.00
	Transporte	56	7.00	392.00
<b>Materiales para la Restauración del biodigestor</b>	Tubo pvc de 4 pulg	1	9.50	9.50
	Tubo pvc de ½ x 1 m	6	2.10	12.60
	Tubo pvc de 3 pulg	1	5.50	5.50
	Te ½ pulg	1	0.75	0.75
	Tampones de 3 pulg	2	1.50	3.00
	Codos enroscables de ½ pulg	3	0.60	1.80
	Codo de 3 pulg	1	2.00	2.00
	Universal ½ pulg	2	1.80	3.60
	Permatex	2	4.50	9.00
	Pega para tubos	2	1.00	2.00
	Teflón	3	1.50	4.50
	Tapón ½	1	2.50	2.50
	Tapón de 6	1	4.50	4.50
	Manguera para gas ½	3	1.25	3.75
	Abrazadera	4	0.25	1.00
	Reducción de 6 a 4 pulg	1	7.00	7.00
	Llaves de paso	1	14.00	14.00
	Tanque 100 Lt	1	20.00	20.00
<b>Materiales de Oficina</b>	Cuaderno	1	1.20	1.20
	Esfero	2	0.60	1.20
<b>Recursos Tecnológicos</b>	Internet	60	--	90.00
<b>Caracterización del estiércol</b>	Laboratorio	1	120.00	120.00
<b>Análisis del biogás</b>	Cromatografía de gases	2	163.88	327.76
	<b>Subtotal</b>			1.165.16
	<b>Imprevistos 10%</b>			116.51
	<b>Total</b>			1.281.67

**Elaborado por:** Andrade E. & Moposita A., 2022

## 14. CONCLUSIONES

- Por los resultados generados, se concluye que pueden existir más inconsistencias en el diseño interior del biodigestor Solar Cities y posibles averías en el mismo, diferentes a las ya mencionadas en los resultados, puesto que los bajos valores de metano y niveles altos de Etano, sugieren una entrada de oxígeno, por lo que existe un error de tipo II y los resultados de la investigación se ven afectados.
- En cuanto al biogás generado, se concluye que es un gas pobre, por lo tanto, su eficiencia es nula, al representar sólo un 18% de metano en la primera prueba y 21% en la segunda, no se puede utilizar el biogás en ninguna aplicación, puesto que el metano es quién propicia la combustión, esto sugiere problemas en la digestión anaerobia.
- De acuerdo a la caracterización del estiércol, se puede concluir que los valores obtenidos del análisis se encuentran dentro de los rangos para el desarrollo de la digestión anaerobia ideal, y también se relaciona el porcentaje de nitrógeno de la excreta (25.69) con el del biogás (35.53), (31.56), puesto que ambos son altos.
- Las características del biogás obtenido son similares a las del GLP de uso doméstico, siendo incoloros y gases livianos. El olor de cada uno de ellos es distinto el biogás huele a huevo podrido y el GLP utiliza mercaptano para ser percibido, el poder calorífico superior del biogás es de 8616.35 kcal/m<sup>3</sup> siendo muy pobre y poco aprovechable para la combustión. En comparación con el poder calorífico superior del GLP que se triplica a 22 400 kcal/m<sup>3</sup>, pero que al quemarse libera demasiado CO<sub>2</sub> al ambiente produciendo GEIs.

## 15. RECOMENDACIONES

- Ubicar el biodigestor en un sitio aislado de los cambios climáticos, para que este no sufra ningún cambio brusco de temperatura en su interior.
- Se recomienda controlar el pH del sustrato haciendo uso de metodologías especializadas para el control del pH y su regulación.
- Para la toma y control de la temperatura interna se recomienda agregar un sensor de temperatura.
- Se recomienda agregar un sensor de presión, ya que a medida que se realiza la biodigestión de los desechos orgánicos, se va acumulando gas dentro de la cavidad vacía que se encuentra en el biodigestor.
- Se recomienda utilizar otros tipos de sustratos distintos al de esta investigación, para evaluar su capacidad para generar biogás.

## 16. BIBLIOGRAFÍA

- Agfprocesos, (2017). El biogás y los Gases de Efecto Invernadero (GEI).  
<https://agfprocesos.com/biogas-los-gases-efecto-invernadero-gei/>
- Agrocalidad. (2018). Toma y envío de muestras en animales domésticos.  
<https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/04/11-INT-DA-19-Rev-4.pdf>
- Akyürek, Z. (2018). Potential of biogas energy from animal waste in the Mediterranean Region of Turkey.
- Apolo, G. (2005). Diseño de un biodigestor para el tratamiento de los residuos albañales generados en la residencia de la universidad de pinar del río como una alternativa energética para el cocido de alimentos (Tesis de pregrado en Ingeniería Ambiental). Universidad Politécnica Salesiana. Carrera de Ingeniería Ambiental. Cuenca. Ecuador.
- ggArrieta, W.J.O. (2016) DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DOMÉSTICO PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DEL ESTIÉRCOL DE GANADO [Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico - Eléctrico]
- Barrera, M. (2012). Estudio del Sistema GLP como combustible alternativo de uso en vehículos automotrices.
- Basurto, C. & Corrales, J. (2017). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA Y DEMOSTRACIÓN DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL CRIADERO PORCINO LA BONITA.
- Blanco, G, Stella, E., Córdoba V., Levy, A. (2017). GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE BIOGÁS CAPTURADO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.  
<https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Generaci%C3%B3n-de-electricidad-a-partir-de-biog%C3%A1s-capturado-de-residuos-s%C3%B3lidos-urbanos-Un-an%C3%A1lisis-te%C3%B3rico-pr%C3%A1ctico.pdf>
- Cabrera, F. (2015). Producir biogás en casa: la experiencia de Fabián Cabrera. Energía Estratégica. <https://www.energiaestrategica.com/producir-biogas-en-casa-la-experiencia-de-fabian-cabrera/>
- Cámara de Comercio de Quito. (2021). SICPA en Ecuador redujo 22.27% de su Huella de Carbono durante 2020. <https://ccq.ec/sicpa-en-ecuador-redujo-22-27-de-su-huella-de-carbono-durante-2020/>

- Camilo, C., Ann, C., & Wilkie, D. (2010). Greenhouse gas emission and biogas potential from livestock in Ecuador. *Energy for sustainable development*, 14, 256-266.
- Castro, L., Parrales, Y., Escalante, H. (2019). Co-digestión anaerobia de estiércoles bovino, porcino y equino como alternativa para mejorar el potencial energético en digestores domésticos. <http://www.scielo.org.co/pdf/rion/v32n2/2145-8480-rion-32-02-29.pdf>
- Cevallos, A & Ramos, R. (2009). Diseño y construcción de un biodigestor de campana flotante a partir de desechos orgánicos de ganado porcino con capacidad de 12m<sup>3</sup> para la obtención de biogás el cual va a ser utilizado en la cocción de alimentos y climatización de la granja el Descanzo. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/308>
- Corrales, L, et al. (2015). Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-24702015000200007](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-24702015000200007)
- Coordinación de Energías Renovables. (2008). *Energías Renovables 2008 - Energía Biomasa*. Buenos Aires: Secretaría de Energía.
- Cruz, E. (2017). DISEÑO DE UN BIOREACTOR PARA GENERAR BIOGÁS A PARTIR DE DESECHOS ORGÁNICOS DE ANIMALES EN LA IRRIGACIÓN DE MAJES – CAYLLOMA.
- Culhane, T., Funk, M., Thieme, S., Jais, D., Majeed, T., Lindstrom, C., Grimaldi, J., Kelsey, J., Puffer, K., Spangler, J., Mistry, S. & Gorns, J. (2015). Solar C<sup>3</sup>ITIES 3 IBC Biogas System: Simple and Effective Solution for Organic Waste.
- Domínguez, G., Galindo, A., Salazar, G., Barrera, G. & Sánchez, F. (2014). *Las excretas porcinas como materia prima para procesos de reciclaje utilizados en actividades agropecuarias*. Tepatitlán de Morelos: INIFAP.
- El Comercio. (2021). Calentamiento global: parte del problema son las vacas. *El Comercio: Sociedad*. <https://www.elcomercio.com/tendencias/sociedad/calentamiento-global-problema-vacas-metano.html>
- Engels, J. (2020). *Biodigesters in Reality*. Permaculture Research Institute. <https://www.permaculturenews.org/2020/01/31/biodigesters-in-reality/>

- Escobedo de León, J.R. (2011) BIOGÁS COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO PARA UNA ESTUFA Y UN MOTOR DE UN CILINDRO CICLO OTTO [Tesis previo a conferirse el título de Ingeniero Mecánico]
- FAO. (2011). Manual de Biogás.
- FAO. (2019). GUÍA TEÓRICO-PRÁCTICA SOBRE EL BIOGÁS Y LOS BIODIGESTORES.  
[http://www.probiomasa.gob.ar/\\_pdf/GuideBiogasyBiodigestores-19-08-29.pdf](http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/GuideBiogasyBiodigestores-19-08-29.pdf)
- Flores. P. & Rodríguez, M. (2013). COMBUSTIBLE BIOGAS A UN CALDERO DE GLP/GAS NATURAL EN PLANTA UASB.
- Flores, C. & Rodríguez, J. (2020). COMPARACIÓN DEL PODER CALORÍFICO Y RENDIMIENTO TÉRMICO DEL BIOGÁS PRODUCIDO A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS Y EL GAS LICUADO DE PETRÓLEO.
- Fluence. (2020). Agregando Valor con la Digestión Anaeróbica. *Fluence News Team*.  
<https://www.fluencecorp.com/es/que-es-digestion-anaerobica/>
- Forero, U. (2020). ESTUDIO DE LA PROSPECTIVA Y VIABILIDAD DE LAS FUENTES DE ENERGÍA MAREOMOTRIZ Y BIOGÁS COMPARANDO SU EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL, EN RELACIÓN CON LAS FUENTES DE ENERGÍA CONVENCIONALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN EL MUNICIPIO DE BARRANCABERMEJA.
- Galán, P. et al., (2010). Diseño y automatización de un biodigestor. [Tesis Ingeniería Eléctrica y de Alimentos, Universidad del Azuay]  
<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/297/1/07914.pdf>
- García, R. (2001). Combustión y combustibles. Madrid.
- Garrett, C. (2022). El calentamiento global en 2022: causas y consecuencias. *Climate Consulting*. <https://climate.selectra.com/es/que-es/calentamiento-global>
- Geniabioenergy. (sf). Ventajas del biogás frente otras energías renovables.  
<https://geniabioenergy.com/ventajas-del-biogas-frente-otras-energias-renovables/>
- Guamanquispe, L & Perdomo, L. (2018). IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA GENERAR BIOGÁS A PARTIR DEL EXCREMENTO DE LA GALLINA EN LA GRANJA AVÍCOLA AVES DEL COTOPAXI. [Tesis de Ingeniería Electromecánica, Universidad Técnica de Cotopaxi].  
<http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/5389/1/PI-000779.pdf>

- Gonzabay, A. & Suárez, P. (2016). Diseño y construcción de un biodigestor anaeróbico semicontinuo para la obtención de gas metano y biol a partir de las cáscaras de naranja y mango. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13392/1/UPS-GT001762.pdf>
- Guerrero, L. (2020). Que es el biogás. *Español*. <https://www.aboutespanol.com/que-es-el-biogas-3417682>
- Herrero, M. (2008). Biodigestores Familiares. La Paz, Bolivia: Creative Commons.
- IQR. (2020). ¿Qué es un biodigestor?. *Ingeniería Química*. <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/05/que-es-un-biodigestor.html>
- Jara Salazar, F. X. (2011) ESTUDIO DE UN SISTEMA DE ENERGÍA RENOVABLE PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE EXCRETAS DE GANADO PORCINO PARA DISMINUIR EL CONSUMO DE GAS DOMÉSTICO EN LA HACIENDA “EL MÁRQUEZ” DEL SECTOR DE CUNCHIBAMBA DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA [Tesis de obtención del título de INGENIERO MECÁNICO]
- Jiménez, G. (2016). ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE LA COMBUSTIÓN DE BIOGÁS EN UN QUEMADOR BOLIVIANO [Archivo PDF]
- LojaGas, (sf). Hoja de Seguridad Gas Licuado de Petróleo. <http://lojagas.com/nueva/wp-content/uploads/2017/08/G-99.-HOJA-DE-SEGURIDAD-GAS-LICUADO-DE-PETROLEO.pdf>
- MAGAP, (sf). MAGAP apoya a pequeños porcicultores de Cotopaxi. <https://www.agricultura.gob.ec/magap-apoya-a-pequenos-porcinocultores-de-cotopaxi/>
- Malacatus, P., Pantoja, C., Marti, J., Cartuche, N. (2017). Análisis comparativo del potencial de Biogás obtenido de la fracción Orgánica de residuos sólidos urbanos.
- Mendoza, C. (2017). CAPÍTULO 9 ANÁLISIS DEL BIOGAS OBTENIDO Y BALANCE ENERGÉTICO 9.1. COMPARACIÓN DEL BIOGÁS PRODUCIDO CON MATERIA ORGANICA. <https://docplayer.es/33914800-Capitulo-9-analisis-del-biogas-obtenido-y-balance-energetico-9-1-comparacion-del-biogas-producido-con-materia-organica.html>
- Methane to Markets. (2008). La importancia del metano y las actividades de reducción de sus emisiones. [https://www.globalmethane.org/documents/methane\\_fs\\_spa.pdf](https://www.globalmethane.org/documents/methane_fs_spa.pdf)
- Ministerio de energía de Chile. (2011). Manual de Biogás. <https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>

- Ministerio de Trabajo y asuntos Sociales de España. (1984). NTP 117: Toma de muestra de gases y vapores con bolsas. Norma general. [https://www.insst.es/documents/94886/326853/ntp\\_117.pdf/dba22397-3a99-4ebc-8bdb-a39884622b33?version=1.0&t=1617977285638](https://www.insst.es/documents/94886/326853/ntp_117.pdf/dba22397-3a99-4ebc-8bdb-a39884622b33?version=1.0&t=1617977285638)
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (sf.), Gases Licuados del Petróleo (GLP). Energía: <https://energia.gob.es/glp/Paginas/Index.aspx#:~:text=Poder%20calor%C3%ADfico,-Butano%20comercial%2C%20el&text=es%3A%2011.867Kcal%2FKg>.
- Miranda, F. (2018). Biodigestores continuos y discontinuos. <https://es.slideshare.net/fernandomiranda123829/biodigestores-continuos-y-discontinuos>
- Moncayo, G. (2013). Dimensionamiento y diseño de biodigestores y plantas de biogás.
- Moncayo, G. (2017). ¿QUE ES EL BIOGÁS?
- Monteros C, E., Durand M, L. C., Mora T, E., & Santos V, E. (2017). Comparación de dos tipos de biomasa para generación de biogás a partir de excretas de ganado porcino y bovino en el laboratorio. *Tecnogestión*, 14(1).
- Monteros Curiel, E., Durand Moreno, L., & Martin del campo moreno, C. (2019). Nanopartículas de hierro magnetizado en la producción de biogás de excretas de ganado porcino. *Tecnogestión*, 16 (1).
- Moreda, L. (2016). The potential of biogas production in Uruguay, *Renew. Sustain.* 54.
- Moreno, L & Casillo, J. (2018). Uso del estiércol porcino sólido como abono orgánico en el cultivo del maíz chala. *Dialnet- UsoDelEstiercolPorcinoSolidoComoAbonoOrganicoEnEIC-6830804%20*
- Morero, B. (2014). Purificación de biogás con tecnologías de producción limpias. [Tesis doctoral. Universidad Nacional del Litoral]. *Tesis%20doctorado%20-%20Betzabet%20Morero.pdf*
- Murillo, M. (2019). Sistema biodigestor Solar Cities para el reciclaje de efluentes orgánicos de la producción bovina de la Facultad de CAREN-UTC 2018-2019 [Tesis Ingeniería Ambiental, Universidad Técnica de Cotopaxi]. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/6265/6/PC-000612.pdf>
- NTE INEN 675. (2017). PRODUCTOS DERIVADOS DE PETRÓLEO. GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP). REQUISITOS.

- OMS. (2021). Cambio climático y salud. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>
- ONU. (2019). Los gases de efecto invernadero le están robando el oxígeno a nuestros océanos. <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/los-gases-de-efecto-invernadero-le-estan-robando-el-oxigeno>
- Osorio, *et al.*, (2007). EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE BIODIGESTIÓN EN SERIE PARA CLIMA FRÍO. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v60n2/a17v60n2.pdf>
- Osejos, M., Jaramillo, J., Merino, M., Quimis, A. & Alcívar, J. (2018). Producción de biogás con estiércol de cerdo a partir de un biodigestor en la Granja EMAVIMA Jipijapa – Ecuador.
- Paiva, P. (2016). Propuesta de aprovechamiento del biogás obtenido a partir del tratamiento de las aguas residuales generadas en la empresa tico cerdo F&G S.A.C., para su uso como biocombustible en los sistemas de calefacción de las áreas de maternidad. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo.
- PNUD (2019). Ecuador y su ambición por combatir el cambio climático. <https://www.ec.undp.org/content/ecuador/es/home/blog/2019/ecuador-y-su-ambicion-por-combatir-el-cambio-climatico.html>
- PRIMAGAS. (2020). Fuentes Alternativas De Energía: Qué Son Y Tipos. <https://blog.primagas.es/energias-alternativas-que-son>
- Quelal, K. & Ullauri, C. (2019). IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS
- Quintanilla, V. (2020). 5 cosas que deberías saber sobre el metano. *AIDA*. <https://aida-americas.org/es/blog/5-cosas-que-deberias-saber-sobre-el-metano>
- Reyes, E. (2017). Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos
- Rodríguez, A. (2020). ¿Qué es la biomasa y como funciona?. *CaloryFrio*. <https://www.caloryfrio.com/energias-renovables/biomasa/que-es-la-biomasa-y-como-funciona.html>
- SoCalGas. (sf). El metano y el medio ambiente. *SoCalGas*. <https://www.socalgas.com/es/stay-safe/methane-emissions/methane-and-the-environment#:~:text=Como%20puede%20atrapar%20el%20calor,calor%20que%20es%20otros%20gases.>

- Sinelec. (2022). VENTAJAS DEL GAS GLP EN EL USO DOMÉSTICO.  
<https://gruposinelec.com/ventajas-del-gas-glp-en-el-uso-domestico/>
- Spiegeler, C & Cifuentes, J. (2016). DEFINICION E INFORMACION DE ENERGIAS RENOVABLES.  
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/4455/1/DEFINICION%20E%20INFORMACION%20DE%20ENERGIAS%20RENOVABLES.pdf>
- Universidad Nacional de Colombia & Tecsol. (2018). ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE CONVERSIÓN A BIOGÁS DE LA BIOMASA EN COLOMBIA Y SU APROVECHAMIENTO
- Universo Porcino. (2019). Que es el biol.  
[http://universoporcino.com/articulos/creando\\_conciencia\\_04-10-2019\\_que\\_es\\_el\\_biol.html](http://universoporcino.com/articulos/creando_conciencia_04-10-2019_que_es_el_biol.html)
- Varnero, M.T. & Arellano, J. (1991). Aprovechamiento racional de desechos orgánicos. Ministerio de Agricultura (FIA). Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, p. 98.
- Zareei, S. (2017). Evaluation of biogas potential from livestock manures and rural.
- Zelaya, R. (2016). Aprovechamiento y valorización energética de biomasa y biogás\*.  
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11931/11924>

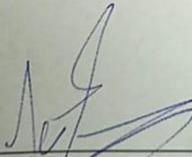
## 17. ANEXOS

## Anexo 1: Checklist

Ilustración 1: Checklist del estado del biodigestor

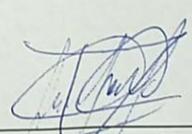
**CHECKLIST**

DIAGNOSTICO DEL BIODIGESTOR SOLAR CITIES		
Materiales	Si	No
2 tanques IBC de 1000 lt.		solo existe 1
1 tubo pvc de 4 pulg	x	
3 tubo pvc de ½ x 1 metro		x
1 tubo pvc de 3 pulg		x
2 te 3x 2 pulg		x
1 te ½ pulg		x
2 tapones 3 pulg	x	
3 codos enroscables de ½ pulg		x
1 universal ½ pulg		x
2 bushing 90 x 75	x	
1 bushing 2 x ½		x
2 adaptadores macho y hembra 90	x	
2 adaptadores macho y hembra 110	x	
3 contra tuerca ½ pulg	x	
1 válvula ½ pulg	x	
2 adaptador f/x ½	x	
1 tapón macho ½		x
5 manguera bicapa ½		x
2 abrazadera 30.06		x
1 reducción de 6 a 4 pulg		x
2 vidrios 80x60 cm	x	
1 embudo	x	




---

MSc. José Luis Agreda Oña  
Docente Tutor  
CC: 0401332101

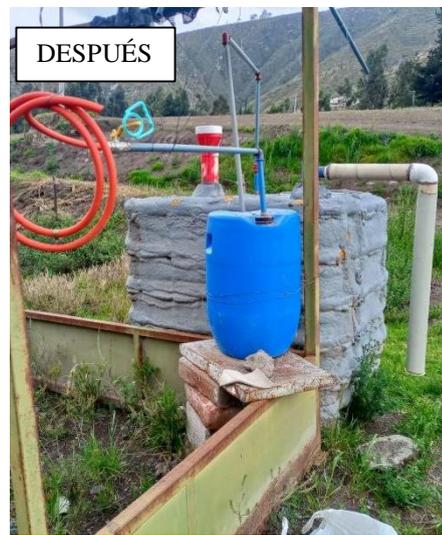



---

Lcdo. MSe. Jaime Rene Lema Pillalaza  
Director de carrera  
CC: 1713759932

## Anexo 2: Readequación del Biodigestor

**Ilustración 1:** Biodigestor con readequaciones y funcionando



**Ilustración 3:** Conexión entre el biodigestor y tanque reservorio

**Ilustración 2:** Acoplamiento de codos, universales y tubos PVC.



**Ilustración 4:** Tanqu

e de readequación para almacenamiento de biogás

### Anexo 3: Carga del biodigestor (Estiércol porcino)

**Ilustración 1:** Recolección de excretas porcinas



**Ilustración 2:** Mezcla de las excretas con agua



**Ilustración 3:** Carga del biodigestor



#### Anexo 4: Toma de muestra de estiércol

**Ilustración 1:** Bolsa y guantes para la toma de muestra



**Ilustración 2:** Toma de la muestra



### Anexo 5: Temperaturas

Días	Temperatura Ambiente °C		
		47	18
		48	16
		49	18
		50	20
1	19	51	19
2	20	52	19
3	18	53	17
4	15	54	18
5	18	55	16
6	18	56	18
7	15	57	19
8	20	58	16
9	17	59	17
10	16	60	19
11	18	61	17
12	15	62	18
13	20	63	19
14	16	64	20
15	16	65	18
16	15	66	19
17	20	67	16
18	16	68	16
19	20	69	15
20	16	70	12
21	18	71	16
22	19	72	18
23	20	73	15
24	16	74	16
25	15	75	17
26	19	76	12
27	16	77	16
28	20	78	18
29	16	79	15
30	15	80	16
31	19	81	17
32	18	82	17
33	15	83	18
34	19	84	17
35	17	85	20
36	17	86	20
37	20	87	18
38	18	88	17
39	20	89	18
40	20	90	20
41	15	91	18
42	19	92	6
43	16	93	4
44	16	94	5
45	17	95	5
46	18	<b>Promedio °C</b>	<b>16.89</b>

Elaborado por: Autores, 2022

## Anexo 6: Toma de muestras del biogás

**Ilustración 1:** Toma de biogás



**Ilustración 2:** Esterilización de bolsa Tedlar con biogás



**Ilustración 3:** Toma de muestra de biogás



**Ilustración 4:** Manejo de muestras



## Anexo 7: Pruebas realizadas

**Ilustración 1:** Prueba de llama con cocineta



**Ilustración 2:** Prueba de llama con soplete (#1)



**Ilustración 3:** Prueba de llama con soplete (#2)



## Anexo 8: Toma de muestra de biogás #2

**Ilustración 1:** Bolsa Tedlar

**Ilustración 2:** Enjuague de la bolsa



**Ilustración 3:** Toma de la muestra



## Anexo 9: Resultados Caracterización de estiércol



<b>INFORME DE RESULTADOS DEL ENSAYO</b>	<b>Código:</b> R PG AB – 20 02
	<b>Revisión:</b> 09
	<b>Fecha de Aprobación:</b> 2021 – 12 - 26

<b>Fecha de recepción:</b>	Martes 5 de Abril del 2022		
<b>Fecha de realización:</b>	Martes 5 de Abril del 2022		
<b>Fecha de entrega:</b>	Lunes 10 de Abril del 2022		
<b>PROPIETARIO:</b>	Sñta. Erika Andrade	<b>TELÉFONO:</b>	0987992181
<b>CÉDULA:</b>	1726873894	<b>UBICACIÓN:</b>	Cotopaxi – Latacunga – Salache
<b>LUGAR:</b>	Campus CEASA	<b>MAIL:</b>	<a href="mailto:erika.andrade3894@utc.edu.ec">erika.andrade3894@utc.edu.ec</a>
<b>SOLICITANTE:</b>	Sñta. Erika Andrade	<b>RESPONSABLE:</b>	M.V.Z. Hernán Calderón
<b>ESPECIE:</b>	Porcina	<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	Heces
<b>EDAD:</b>	Sin dato		
<b>N° DE MUESTRAS:</b>	1		
<b>PRUEBAS SOLICITADAS:</b>	Bromatológico		
<b>MÉTODO:</b>	Observación		

### RESULTADOS

**MUESTRA:** Heces  
**IDENTIFICACIÓN:** Criadero

CARACTERÍSTICAS ORGANOLÓPTICAS	
<b>COLOR</b>	Característica
<b>OLOR</b>	Característica
<b>ESTADO</b>	Sólido

### INFORME

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO	VALOR PREFERENCIAL
Humedad	%	26.23	MAL-15/AOAC92510
Sólidos Totales	%	42.44	MAL-15/AOAC92510
Nitrógeno kg/m <sup>3</sup> /t	%	25.69	MAL-04/AOAC92510
Sólidos Volátiles	%	23.12	MAL-02/AOAC92303
pH Solución al 10%	%	7.8	MAL-02/AOAC92302

Estos resultados son válidos sólo para la (s) muestra (s) analizadas y se prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización de ANIMALAB. CIA. LTDA.

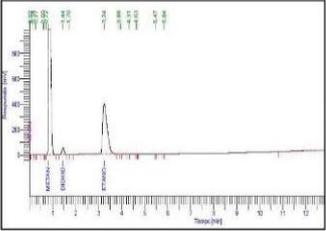
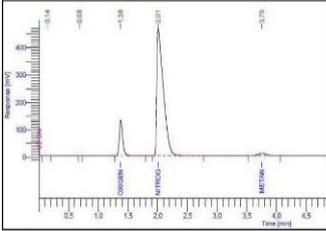
ANIMALAB CIA. LTDA.  
 M.V.Z. HERNÁN CALDERÓN  
 DIRECTOR TÉCNICO "ANIMALAB LTDA."

## Anexo 10: Resultado #1 del Análisis del biogás

	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Página:	1 de 1	
		<b>FPT-7.8-03-03</b>		

### INFORME No. I-LAI-022-12

Orden de Trabajo No. DQ-OT0005-2022

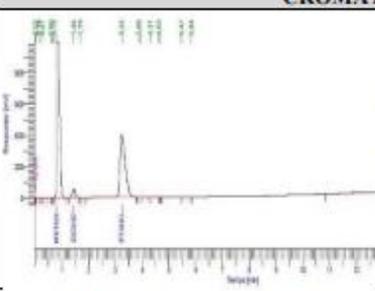
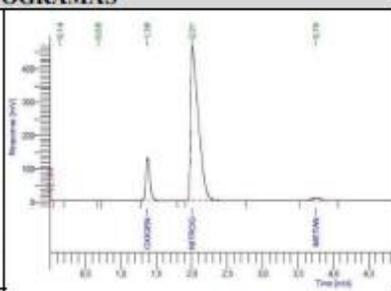
INFORMACIÓN CLIENTE					
Cliente / Empresa:	Adrian Moposita		Persona de contacto:	Adrian Moposita	
Dirección / Telf.:	Ambato, Calles Aguacollas y el Ollero		E-mail:	angel.moposita5474@utc.edu.ec	
PARÁMETROS DE LA MUESTRA					
Identificación:	M-LAI-022-12-01		Fecha de muestreo:	* 13/02/2022	
Tipo de muestra:	* Biogas		Plan de muestreo:	No aplica	
Tipo de contenedor:	Bolsa Tedlar		Fecha inicio del ensayo:	14/02/22	
Fecha de recepción:	14/02/22		Fecha entrega informe:	18/02/22	
CONDICIONES DE TRABAJO					
Temperatura y %HR ambiente:	19.4 °C	52.8 %	Norma de referencia:	ASTM D 1945: Cromatografía ASTM D 3588: Cálculos	
Temperatura y Presión de muestra:	66.20 °F 19.00 °C	10.43 psi 71920.68 Pa	Procedimiento interno:	PE-7.2-01 PE-7.2-02	
RESULTADOS					
COMPOSICIÓN	COMPONENTE		% Peso	% Moles	
	Oxígeno		1.01	0.80	
	Nitrógeno		35.31	31.98	
	Metano		18.33	28.99	
	Dióxido de carbono		0.12	0.07	
	Etano		45.23	38.16	
PROPIEDADES	Densidad relativa		0.88		
	Peso molecular promedio [g/mol]		25.37		
	Densidad de la muestra (g/L)		1.07		
	Poder calorífico superior [kJ/m <sup>3</sup> ]		36074.94		
	Poder calorífico inferior [kJ/m <sup>3</sup> ]		32845.32		
	Factor de compresibilidad (z)		1.0000		
CROMATOGRAMAS		MUESTRA			
					
<b>Columna Porapak Q 80/100</b> (Cuantificación de hidrocarburos)		<b>Columna 13 X 45/60</b> (Cuantificación de nitrógeno y oxígeno)			
					
DECLARATORIAS	* Dato proporcionado por el cliente. Los ensayos fueron realizados dentro de las instalaciones del laboratorio LAI. Los resultados reportados corresponden únicamente a los ítems ensayados. El laboratorio no emite opiniones o interpretaciones sobre los resultados encontrados. Queda prohibida la reproducción parcial o total del presente informe sin previa autorización.				
OBSERVACIONES	No existe observaciones ni desviaciones durante la ejecución del ensayo. Los resultados han sido reportados en base seca del gas, sin considerar el agua de la muestra.				
Elaborado por:	<b>ELIANA LIZETH PENA PONTON</b> Firmado digitalmente por ELIANA LIZETH PENA PONTON Fecha: 2022.02.21 16:09:49 -05'00'		Revisado por:	<b>GABRIELA VANESSA PEREZ GUIRACOCCHA</b> Firmado digitalmente por GABRIELA VANESSA PEREZ GUIRACOCCHA Fecha: 2022.02.21 16:45:56 -05'00'	
<b>Ing. Eliana Peña</b> <b>ANALISTAS DE LABORATORIO</b>			<b>Ing. Gabriela Pérez</b> <b>RESPONSABLE TÉCNICA (s)</b>		

## Anexo 11: Resultados de laboratorio #2 sobre la muestra de biogás

	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Página:	1 de 1	
		<b>FPT-7.9-03-03</b>		

### INFORME No. I-LAI-022-12

Orden de Trabajo No. DQ-OT0007-2022

INFORMACION CLIENTE				
Cliente / Empresa:	Adrian Moposita		Persona de contacto:	Adrian Moposita
Dirección / Telf.:	Ambato, Calles Aguacollas y el Ollero		E-mail:	angel.moposita5474@utc.edu.ec
PARAMETROS DE LA MUESTRA				
Identificación:	M-LAI-022-12-02		Fecha de muestreo:	25/03/22
Tipo de muestra:	* Biogas		Plan de muestreo:	No aplica
Tipo de contenedor:	Bolsa Tedlar		Fecha inicio del ensayo:	25/03/22
Fecha de recepción:	25/03/22		Fecha entrega informe:	30/03/22
CONDICIONES DE TRABAJO				
Temperatura y %HR ambiente:	16.0 °C	40.8 %	Norma de referencia:	ASTM D 1945: Cromatografía ASTM D 3588: Cálculos
Temperatura y Presión de muestra:	64.40 °F	13.21 psi	Procedimiento interno:	PE-7.2-01
	18.00 °C	91079.74 Pa		PE-7.2-02
RESULTADOS				
COMPOSICIÓN	COMPONENTE		% Peso	% Moles
	Oxígeno		1.00	0.79
	Nitrógeno		31.56	28.03
	Metano		21.12	31.88
	Dióxido de carbono		0.20	0.15
	Etano		46.12	39.15
PROPIEDADES	Densidad relativa		0.90	
	Peso molecular promedio [g/mol]		27.16	
	Densidad de la muestra (g/L)		1.57	
	Poder calorífico superior [kJ/m <sup>3</sup> ]		40875.94	
	Poder calorífico inferior [kJ/m <sup>3</sup> ]		35024.44	
	Factor de compresibilidad (z)		1.0000	
CROMATOGRAMAS		MUESTRA		
 <p style="text-align: center;"><b>Columna Porapak Q 80/100</b> (Cuantificación de hidrocarburos)</p>		 <p style="text-align: center;"><b>Columna 13 X 45/60</b> (Cuantificación de nitrógeno y oxígeno)</p>		
DECLARATORIAS	<p>* Dato proporcionado por el cliente.</p> <p>Los ensayos fueron realizados dentro de las instalaciones del laboratorio LAI</p> <p>Los resultados reportados corresponden únicamente a los ítems ensayados.</p> <p>El laboratorio no emite opiniones o interpretaciones sobre los resultados encontrados</p> <p>Queda prohibida la reproducción parcial o total del presente informe sin previa autorización.</p>			
OBSERVACIONES	<p>No existe observaciones ni desviaciones durante la ejecución del ensayo.</p> <p>Los resultados han sido reportados en base seca del gas, sin considerar el agua de la muestra.</p>			
Elaborado por:	<b>ELIANA LIZETH PONTON</b> <small>Firmado digitalmente por ELIANA LIZETH PONTON Fecha: 2022.03.30 14:05:07 -0401</small>		Revisado por:	<b>GABRIELA VANESSA PEREZ GUIRACOCHA</b> <small>Firmado digitalmente por GABRIELA VANESSA PEREZ GUIRACOCHA Fecha: 2022.03.30 14:30:26 -0401</small>
<b>Ing. Eliana Peña</b>		<b>Ing. Gabriela Pérez</b>		
<b>ANALISTAS DE LABORATORIO</b>		<b>RESPONSABLE TÉCNICA (s)</b>		

**Anexo 12: Aval Certificado del Abstract**