

# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**



## **FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS DIRECCIÓN DE POSGRADO MAESTRÍA EN AGRONOMÍA MENCIÓN CAMBIO CLIMÁTICO**

**PRODUCCIÓN DE METANO A PARTIR DE BIOMASA RESIDUAL  
PECUARIA ENRIQUECIDA CON DESECHO DE CULTIVO DE FRESA  
(Fragaria ananassa) EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO,  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**Trabajo de investigación, previo a la obtención del Grado Académico de  
Magíster en Agronomía mención Cambio Climático**

**Autora: Ing. Silvia Ximena Miranda Quitiaquez**

**Director: Ing. Manolo Sebastián Muñoz Espinoza**

**Ambato – Ecuador**

**2020**

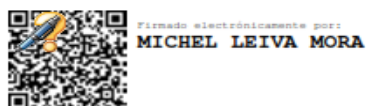
A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ciencias Agropecuarias.

El Tribunal receptor del Trabajo de Investigación presidido por Ing. Marco Pérez Salinas Mg, e integrado por los señores, Ing. Michel Leiva Mora DrC. Ing. Gonzalo Aragadvay Mg. designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Investigación con el tema: PRODUCCIÓN DE METANO A PARTIR DE BIOMASA RESIDUAL PECUARIA ENRIQUECIDA CON DESECHO DE CULTIVO DE FRESA (Fragaria ananassa) elaborado y presentado por la Ing. Silvia Ximena Miranda Quitiaquez , para optar por el Grado Académico de Magister en Agronomía Mención Cambio Climático; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Investigación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.



---

Ing. Marco Pérez Salinas Mg  
Presidente del Tribunal



---

Ing. Michel Leiva Mora DrC.  
Miembro del Tribunal



---

Ing. Gonzalo Aragadvay Mg.  
Miembro del Tribunal

## **AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Investigación presentada con el tema: PRODUCCIÓN DE METANO A PARTIR DE BIOMASA RESIDUAL PECUARIA ENRIQUECIDA CON DESECHO DE CULTIVO DE FRESA (*Fragaria ananassa*), le corresponde exclusivamente a la Ing. Silva Ximena Miranda Quitiaquez, Autora bajo la Dirección del Ing. Manolo Sebastián Muñoz Espinoza Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



---

Ing. Silvia Ximena Miranda Quitiaquez

c.c. 0401065206

**AUTORA**



Firmado electrónicamente por:  
**MANOLO SEBASTIAN  
MUNOZ ESPINOZA**

---

Ing. Manolo Sebastián Muñoz Espinoza

c.c. 1801875608

**DIRECTOR.**

## **DERECHOS DEL AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Investigación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.



---

Ing. Silvia Ximena Miranda Quitiaquez

c.c. 0401065206

## ÍNDICE GENERAL

Portada.....	i
A la Unidad Académica de Titulación .....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHOS DEL AUTOR .....	iv
ÍNDICE GENERAL .....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
AGRADECIMIENTO .....	x
DEDICATORIA.....	xi
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.....	xii
RESUMEN EJECUTIVO .....	xiii
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.....	xiv
EXECUTIVE SUMMARY .....	xv
CAPÍTULO I.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2 Justificación.....	3
CAPÍTULO II.....	5
2.1. Estado del Arte .....	5
2.1.1. Contaminación y Cambio Climático en el Ámbito Mundial.....	5
2.1.2. Cambio Climático en el Ecuador.....	6
2.1.3 Gases de Efecto Invernadero (GEI).....	7
2.1.4. CH <sub>4</sub> .....	9
2.1.5. Biodigestores .....	11
2.1.6. El Biogas .....	12
2.1.7. Digestión Anaerobia.....	12
2.1.8 Bases Microbiológicas del proceso Anaerobio. ....	13

2.1.9 Acidogénesis.....	14
2.1.10 Acetogénesis.....	14
2.1.11 Metanogénesis .....	15
2.1.12 Biomasa .....	15
2.1.13. Conversión de la Biomasa en energía. Sostenibilidad energética en Ecuador. .....	16
2.1.14. Disposición de Residuos Orgánicos .....	16
OBJETIVOS.....	18
OBJETIVO GENERAL .....	18
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
CAPÍTULO III .....	19
3.1. Metodología.....	19
3.1.1 Enfoque.....	19
3.1.2 Modalidad básica de la investigación.....	19
3.1.3 Hipótesis .....	19
3.1.4 Señalamiento de variables .....	19
3.1.5 Nivel o tipo de investigación .....	20
3.1.6 Población y muestra.....	20
3.2 Operacionalización de variables .....	21
3.2.1 Variable independiente .....	21
3.2.2 Variable dependiente .....	22
3.3 Recolección de información .....	23
3.3.1 Ubicación del ensayo.....	23
3.3.2 Caracterización del lugar .....	23
3.4 Diseño experimental.....	23
3.5 Análisis estadístico .....	23
3.6. Manejo del ensayo.....	23

3.7. Factores en estudio .....	23
CAPÍTULO IV .....	24
4.1 Resultados.....	24
4.1.1 Producción de gas y metano .....	24
4.1.2 Producción de ácidos grasos volátiles .....	24
4.2. Análisis de Resultados.....	25
CAPÍTULO V .....	27
5.1. Conclusiones.....	27
5.2. Recomendaciones .....	27
Bibliografía.....	29
Anexos.....	36

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Gases efecto invernadero más importantes y que afectan al cambio climático	8
<b>Tabla 2.</b> Gases efecto invernadero más importantes y que afectan al cambio climático	9
<b>Tabla 3.</b> Resumen del total de emisiones de metano para el año 2012	10
<b>Tabla 4.</b> Operacionalización variable independiente	21
<b>Tabla 5.</b> Operacionalización variable dependiente	22
<b>Tabla 6.</b> Descripción de factores de estudio	23
<b>Tabla 7.</b> Consolidado de resultados obtenidos	24



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema general de la degradación anaerobia	13
--	----

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Técnica de Ambato en especial a la Facultad de Ciencias Agropecuarias, a sus Autoridades por ser los promotores de esta Maestría y formarme como un buen profesional.

A los docentes que impartieron sus conocimientos en el programa de Maestría en Agronomía Mención Cambio Climático, quienes con su profesionalismo y ética puesto en manifiesto en las aulas enrumbaron a cada uno de sus estudiantes, haciéndonos profesionales útiles para la sociedad.

A mi director Ing. Manolo Muñoz y PhD Marcos Barros que con su experiencia como docentes han sido una guía idónea, durante el proceso que ha llevado el realizar este trabajo de investigación

## **DEDICATORIA**

Con todo cariño dedico este trabajo a Dios, mi  
Familia, docentes, compañeros y amigos.

Agradezco a Dios por darme la salud y cuidarme  
siempre en cada momento de mi vida.

A mis amados hijos Sarita y Emilio por ser mi fuente de motivación  
e inspiración para esforzarme y llegar a la meta anhelada

A mis docentes, compañeros y amigos por el apoyo  
brindando en esta nueva etapa académica, como también por  
los agradables momentos compartidos

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN AGRONOMÍA MENCIÓN CAMBIO**  
**CLIMÁTICO**

**TEMA:**

PRODUCCIÓN DE METANO A PARTIR DE BIOMASA RESIDUAL PECUARIA ENRIQUECIDA CON DESECHO DE CULTIVO DE FRESA (Fragaria ananassa) EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**AUTORA:** Ing. Silvia Ximena Miranda Quitiaquez

**DIRECTOR:** Ing. Manolo Sebastián Muñoz Espinoza Ph.D

**FECHA:** 26/09/2019

## RESUMEN EJECUTIVO

### **PRODUCCIÓN DE METANO A PARTIR DE BIOMASA RESIDUAL PECUARIA ENRIQUECIDA CON DESECHO DE CULTIVO DE FRESA (*Fragaria ananassa*) EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

La investigación tuvo como objetivo determinar la producción in vitro de biogás, metano y AGVs mediante la adición de residuos de fresa en estiércol de cerdo y ovino a diferentes concentraciones, el experimento se realizó en los laboratorios de Ruminología de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Ambato, se aplicó un diseño de bloques completamente al azar, y la prueba de comparación de Tukey al 5% a través del sistema estadístico Infostat versión 2019; los tratamientos estudiados se plantearon con una materia prima estándar que fue la cerdaza, en combinación con diferentes proporciones de materia fresca extrusada de fresa y ovinaza así: T1 Cerdaza 60% + 40% fresa; T2 Cerdaza 60% + 30% fresa + 10% ovinaza; T3 Cerdaza 60% + 20% fresa + 20% ovinaza; T4 Cerdaza 60% + 10% fresa + 30% ovinaza y T5 Cerdaza 60% + 40% ovinaza. Los resultados observados con respecto a la producción de biogás fue mayor ( $P=0.0001$ ) en el tratamiento T4 (201.2 mL/kg) y T5 (193.56 mL/kg), al igual que la producción de metano fue mayor ( $P=0.0001$ ) en el T4 (6.8 mL/kg) y T5 (7.0 mL/kg), en lo que se trata de ácidos grasos volátiles se apreció una mayor ( $P=0.0001$ ) producción de ácido acético en el tratamiento T1 con respecto a los demás tratamientos, mientras que para el ácido propiónico la mayor ( $P=0.0001$ ) producción se la observó en el T3 y en el ácido butírico no se observó diferencias ( $P=0.9807$ ) entre los tratamientos evaluados. Concluyendo que la presencia de la fresa, no fue determinante para incrementar la formación de biogás como de metano, pero si al momento de la formación de ácidos grasos volátiles, lo cual se comprueba al ser el mejor tratamiento el T1 con la mayor cantidad de porcentaje de fresa adicionada al estiércol de cerdo.

Palabras clave: Ovinaza, cerdaza, AGV, metano, biogás, fresa

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN AGRONOMÍA MENCIÓN CAMBIO**  
**CLIMÁTICO**

**THEME:**

METHANE PRODUCTION FROM LIVESTOCK RESIDUAL BIOMASS ENRICHED WITH STRAWBERRY CROP WASTE (*Fragaria ananassa*) AT THE UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES.

**AUTHOR:** Ing. Silvia Ximena Miranda Quitiaquez

**DIRECTED BY:** Ing. Manolo Sebastián Muñoz Espinoza Ph.D

**DATE:** 26/09/2019

## EXECUTIVE SUMMARY

### **METHANE PRODUCTION FROM LIVESTOCK RESIDUAL BIOMASS ENRICHED WITH WASTE FROM STRAWBERRY CROP (*Fragaria ananassa*) AT THE UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES**

The objective of the research is to determine the production in vitro of biogas, methane and AGVs by adding strawberry residues in pig and sheep manure at different concentrations, the experiment was carried out in the Ruminology laboratories of the Faculty of Agricultural Sciences of the Technical University of Ambato, a completely randomized block design was applied, and the Tukey comparison test at 5% through the statistical system Infostat version 2019; the studied treatments were made with a standard raw material of pig herd manure , in combination with different proportions of fresh macerated strawberry and sheep flock manure as follows: T1 60% + 40% strawberry macerated; T2 Cerdaza 60% + 30% macerated strawberry + 10% sheep flock manure; T3 Cerdaza 60% + 20% macerated strawberry + 20% sheep flock manure; T4 Cerdaza 60% + 10% macerated strawberry + 30% sheep flock manure and T5 Cerdaza 60% + 40% sheep flock manure . The results observed in relation to the biogas production was higher ( $P = 0.0001$ ) in the treatment T4 (201.2 mL / kg) and T5 (193.56 mL / kg), as well as the methane production was higher ( $P = 0.0001$ ) in T4 (6.8 mL / kg) and T5 (7.0 mL / kg), referring about volatile fatty acids, a higher ( $P = 0.0001$ ) production of acetic acid was observed in treatment T1 in relation to the other treatments. While for propionic acid the highest ( $P = 0.0001$ ) production was observed in T3 and in butyric acid there weren't observed differences ( $P = 0.9807$ ) between the evaluated treatments. Concluding that the strawberries was not decisive to increase the formation of biogas such as methane, however it was at the time of the formation of volatile fatty acids, which is verified as the best treatment T1 with the highest percentage of strawberry added to pig manure.

Keywords: Sheep, bristle, AGV, methane, biogas, strawberry

# CAPÍTULO I.

## 1.1. Introducción

Una problemática mundial que ha visto afectada a la seguridad alimentaria, biodiversidad, economía, medio ambiente es la generación de desechos frutales que se encuentran relacionados con el incontrolado consumo de alimentos, cambios del estilo de vida falta de concientización de los consumidores lo que ocasiona pérdidas por descomposición y un problema social ambiental. En el campo desde la siembra hasta los procesos de transformación generan un impacto de pérdidas y desperdicios en los recursos naturales de ahí la importancia de proponer estrategias que puedan sobrellevar sistemas de producción sostenibles y amigables con el medio ambiente. (Ramírez, V. Peñuela, Pérez, 2017).

Las emisiones de gases de efecto invernadero debido a la generación exponencial de biogás proveniente de residuos orgánicos potencializan el denominado cambio climático, el aumento de la población constituye un factor determinante en el volumen de residuos generados además que la incorrecta disposición de los mismos confinados en mantos freáticos, suelo agua aumentan las emisiones de metano contribuyendo al calentamiento global. (López, 2010).

La meta de la FAO propone para el 2030 reducir la pérdida de alimentos a la mitad a nivel global tanto en cadenas de producción venta, consumo y pos cosecha ya que cada año se desperdician 1,3 billones de toneladas de comida siendo los residuos orgánicos de hogares y restaurantes los principales generadores de la degradación de los recursos naturales. (FAO, 2017c).

Organizaciones no gubernamentales como ONG están impulsando proyectos en los cuales no existen estudios que analicen el potencial en cuanto a la captura de gas metano en el Ecuador, los beneficios de producir metano y el uso de su energía, así también la reducción de gases de efecto invernadero, gracias a la utilización de estiércol. Entre los gases de efecto invernadero que ocurren naturalmente son: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O), Ozono (O<sub>3</sub>) y vapor de agua. (Cornejo, C. Wikie, 2010).

El manejo del estiércol es de suma importancia en la producción de metano así, en



los sistemas de manejo sólido como son fosas profundas, lotes de engorde producen menos emisiones de metano comparado al sistema líquido como son lagunas de oxidación y pozos profundos debido a la humedad y altas temperaturas que favorecen en la producción de metano.(Energía, 2017)

La biodegradación de residuos ejerce una importante influencia en cuanto a contaminación de aire, suelo y agua debido a las emisiones de gases de efecto invernadero que se generan en este proceso, por lo que entre los sectores más contaminantes se encuentra la industria, energía, transporte minería siendo el metano uno de los gases que por proceso anaeróbico de los desechos orgánicos tiene un potencial de calentamiento 24 veces superior al CO<sub>2</sub>. (Ramírez, V.Peñuela, L.Pérez, 2017).

De acuerdo al Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero(GEI) en el 2012 las emisiones totales en el Ecuador oscilas a 80627,16 Gg de CO<sub>2</sub>, siendo el sector energía el que mayor aporte a generado con un 46,63 % seguido del sector USCUS con el 25,35% a continuación Sector Agricultura con el 18,17% y en último lugar el sector residuos y procesos Industriales con el 10% de emisiones emitidas a la atmosfera, en lo que respecta al metano CH<sub>4</sub> la mayor emisión corresponde al sector agricultura debido a la fermentación entérica con un 82,74%, seguido del cultivo de arroz con el 14,25%. (MAE, 2017).

Según (Santillán, V.Barra, J . Pellat & Alvarado, 2016), el 38% de la superficie terrestre corresponde a suelo agrícola ocupado tanto en pastizales como en cultivos los mismos que se abastecen con el 70% de agua dulce disponible, estos procesos en desarrollo agrícola sobre todo en arroz y en expansión de pastizales.

A nivel mundial se ha observado que el consumo de energía está asociado al desarrollo económico sobre todo por la crisis del petróleo y la dependencia de los combustibles fósiles, es por ello que España busco alternativas nacionales para la importación de productos petrolíferos puesto que su dependencia ha ocupado un papel muy importante, pero ante el compromiso al ser miembro de la Unión Europea en el tema de clima y energía con el 20/20/20 reducir el 20% de emisiones de GEI, consumo final de energía 20% y un 20% de eficacia energética, las energías renovables han progresado hasta un 10,5% del total representando el 44% de la producción interna en 2010. (Sevilla, M. Laville, E.Driha, 2013).

Los combustibles fósiles (petróleo, gas licuado, carbón), reportan el 90 % de necesidades energéticas satisfechas pero que en un futuro podrían ser extinguidas a la vez fuertemente contaminantes, en las zonas rurales de los países en vías de desarrollo se utiliza en gran medida leña ocasionando deforestación, de ahí la necesidad de encontrar alternativas tecnológicas apropiadas que utilicen residuos orgánicos disponibles localmente para producir energía y biofertilizante de esta manera preservar el medio ambiente. (Severiche, C. Acevedo, 2013).

## **1.2 Justificación.**

En Latinoamérica una de las grandes problemáticas es la incorrecta disposición de los residuos sólidos sobre todo a causa del crecimiento demográfico, urbanizaciones y desarrollo económico, solo nuestro país genera alrededor de 400 000 toneladas de basura anualmente siendo el 62% de residuos orgánicos y el 25% a inorgánica correspondiendo a Quito y Guayaquil un 43%, y solo un 10% anual es utilizado para la producción de energía en el Ecuador. (Solíz, 2015).

Hoy en día la rápida urbanización el incremento del sector agroindustrial y agropecuario producen gran cantidad de desechos orgánicos los mismos que tienen como disposición final basureros, calles, cuerpos de agua, a cielo abierto lo que ocasiona múltiples problemas de contaminación del aire, agua suelo, paisaje, salud y emisiones de biogás; en ciertos casos se emplea técnicas para la utilización de residuos orgánicos en procesos que pueden generar utilidad.

La generación de residuos en el Ecuador constituye uno de los mayores problemas ambientales encontrándose antes de Colombia, Chile, Brasil y Perú en cuanto a generación de los mismos, en el año 2016 la generación y clasificación de residuos orgánicos en los hogares del Ecuador aumento en un 25,06% (INEC, 2016), de ahí una alternativa en la diversificación de energía renovable en el Ecuador constituye la producción y captura de biogás puesto que el 25% del presupuesto Nacional es utilizado en el subsidio de combustibles con un alto costo económico, es así que ya existen proyectos para incrementar la producción de energía renovable en Cuenca la captura de biogás a partir de rellenos sanitarios y Guayaquil con el biocombustible del bagazo de caña de azúcar y otros más.

Ecuador actualmente cuenta con tecnologías rentables para capturar metano como son los biodigestores de los cuales se obtiene además del biogás un efluente líquido biol o biofertilizante que puede ser remplazado por los fertilizantes químicos y una opción para reducir la cantidad de nutrientes liberados en el suelo , beneficios para la salud y la reducción de las emisiones de metano en el sector agrícola e impacto ambiental positivo, así como socio económico, desempeñando un papel muy importante en la mitigación de gases de efecto invernadero

Algunos factores como son el desarrollo científico, disponibilidad de tecnología factores sociales se encuentran relacionados con las fuentes potenciales de biogás en los sectores ganaderos, rellenos sanitarios, deforestación residuos agrícolas los mismos que no deberían ser analizados como una problemática sino como una oportunidad de generación de energía renovable orientadas hacia las formas de producción limpia sin riesgos para la salud y de esta manera ser más respetuosos con el medio ambiente.

Por todo ello la importancia de analizar la producción de biogás por la degradación de desechos orgánicos y ser tomada como una alternativa energética renovable que nos permitirá emplearla de una manera más fácil y óptima para satisfacer las necesidades de la sociedad y de este modo también se aprovecha los recursos y se disminuye el impacto ambiental.

Con base en lo antes mencionado la presente investigación pretende aprovechar la biomasa derivada del sector pecuario con residuos agrícolas a partir de la mezcla de estiércol de cerdo, residuos de cultivo de fresa y agua, todo este proceso llevado a cabo en laboratorio in vitro a una temperatura determinada mediante un proceso en condiciones anaeróbicas para la obtención de biogás de esta manera convertir estos residuos en agentes mejoradores de la calidad del ambiente y disminuir el impacto ambiental generado por el metano producido.

## **CAPÍTULO II**

### **2.1. Estado del Arte**

#### **2.1.1. Contaminación y Cambio Climático en el Ámbito Mundial**

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) detallan al Cambio Climático como cualquier cambio del clima en el transcurso del tiempo ya sea de forma natural o como resultado de actividades, pero también la Convención Marco de las Naciones Unidas menciona que estos cambios son dados por las actividades directas o indirectas del ser humano, como las variabilidades del clima que han ocasionado daño en la atmosfera (IPCC, 2001); al 2050 debido a las variaciones climáticas se prevé una disminución del 4% en consumo de frutas, verduras y carnes aumento en cuanto a plagas y enfermedades como también la resistencia a productos farmacéuticos y problemas relacionados con inocuidad alimentaria debido al uso excesivo de plaguicidas. Según las previsiones del cambio climático se observarán mayores fenómenos meteorológicos en lo que respecta a precipitaciones, sequías de corta o larga duración, ciclones, en la acuicultura el 40% de peces desaparecerá debido a variaciones de temperatura, cambios en salinidad, concentraciones de oxígeno o acidificación; además de la afectación en los ecosistemas forestales que puede llegar a ser uno de los principales factores de pérdida en biodiversidad. (FAO, 2017b).

(Conde, 2006), menciona que el cambio climático aparte de ser un fenómeno natural también es producido por actividades humanas debido sobre todo al uso y quema de combustibles fósiles como el petróleo, deforestación lo que ha ocasionado cambios en la composición atmosférica, en los últimos 100 años la tierra se ha calentado medio grado Celsius por lo que para el año 2100 nuestro planeta se calentaría entre 1.4 y 5.8 grados Celsius concluyendo de esta manera que mediante el Protocolo de Kioto se establece la reducción de emisiones, sin embargo los países más poderosos no ratificaron este acuerdo siendo entre ellos China, Rusia, Estados Unidos, Japón entre otros, afectando a los países menos contaminantes por lo que es necesario aumentar la capacidad de prevención y acción ante los desastres climáticos

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura menciona que el hambre se ha intensificado en el 2017 y calcula que alrededor de 815 millones de personas aún sobrellevan el hambre crónica; por lo que se espera un aumento

en cuanto a producción alimenticia en un 49% al 2050 para satisfacer necesidades alimenticias. Mediante los sistemas de agricultura climáticamente inteligente, gestión sostenible de recursos naturales, mejores prácticas y tecnologías en el manejo del abono animal y sistema alimentario se podrá reducir hasta en un 30% las emisiones por ganadería y hacer un mayor uso de generadores de biogás, de todas las emisiones de GEI antropogénicas el 14,5% provienen de las cadenas de suministro ganadero, como también las pérdidas por desperdicio mundial de alimentos que generan alrededor del 8% de emisiones anuales. (FAO, 2017a).

En la investigación realizada por (Smith, M. Myers, 2016), menciona que de seguir con las emisiones actuales de CO<sub>2</sub> el 1,9% de la población mundial proyectadas al 2050 tendría problemas en cuanto a deficiencia de zinc y 1,3% en deficiencias de proteínas denominada el coste nutricional del Cambio Climático, debido a que los alimentos que se está ingiriendo pueden estar contaminados por CO<sub>2</sub> y así disminuir la presencia de elementos nutricionales como son el zinc y el hierro y un aumento en el contenido de carbohidratos concluyendo que entre los cultivos que se han visto afectados tenemos a las frutas, vegetales trigo y arroz.

### **2.1.2. Cambio Climático en el Ecuador**

(Armijos, 2010) en su artículo el cambio climático y la conservación de la biodiversidad en el Ecuador menciona que la falta de tecnología frente a países industrializados, como también el poco interés de los gobernantes constituye una desventaja ya que las investigaciones realizadas se han enfocado en el retroceso de los glaciares, mas no en poblaciones indígenas rurales afectadas por el deterioro de fauna y flora del país. En este sentido (Exteriores, 2014) menciona de la aplicación de medidas por parte de los Gobiernos son necesarias para la reducción de GEI como es el uso de energías renovables, manejo y protección de ecosistemas, control en proyectos de infraestructura, gestión de aguas o de alimentos entre otros.

(Cadilhac, L. Torres, R. Calles, J. Vanacker, V. Calderón, 2017) realizaron una investigación en el Ecuador mediante el trabajo conjunto de Ministerio del Ambiente, la Secretaría de Educación Superior, Ciencia y Tecnología y la Red Ecuatoriana de Cambio Climático para lo cual se realizó una encuesta en línea en la cual menciona que existe un 62% de proyectos de investigaciones referentes a la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático, el 21% trata temas de mitigación del cambio climático y el 17% se orienta al estudio de bases físicas, concluyendo que es necesario establecer prioridades

de investigación como también una mejor coordinación interinstitucional. En cuanto a estudios de mitigación se puede observar un incremento en cuanto a investigaciones de aprovechamiento de Biomasa como fuente energética.

En Ecuador los desechos orgánicos han sido un problema considerable debido a que no se ha educado a la población con normas que protejan el medio ambiente y procesos por medio de los cuales se trate con responsabilidad la desintegración de estos y al no realizar ninguna acción en estos procesos se convierten en focos de infección ya que al descomponerse producen bacterias, hongos contaminando suelo, agua y aire siendo un riesgo ambiental y también en la salud pública. De ahí el hecho de viabilizar estrategias que ayuden a mitigar el cambio climático el compromiso de la sociedad civil y autoridades en disminuir desechos contribuirá a contaminar menos y así poder contar con un ambiente saludable. (Lema, P. 2017).

### **2.1.3 Gases de Efecto Invernadero (GEI)**

(Benavides, H. León, 2007); conceptualiza a los Gases de efecto invernadero(GEI) como los componentes gaseosos de la atmosfera que pueden ser naturales como antropogénicos los mismos que absorben y emiten radiación en longitudes de onda de radiación infrarroja emitidas a la atmosfera y se clasifican en:

- GEI Directos. - son los emitidos a la atmosfera en forma directa y contribuyen al efecto invernadero aquí tenemos al dióxido de carbono, Metano, Óxido Nitroso y compuestos Halogenados.
- GEI Indirectos. -son los que contaminan el aire precursor de ozono troposférico y en la atmosfera se transforman en gases de efecto invernadero y tenemos a los óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono.

Entre los principales gases que aportan al calentamiento global y fueron establecidos en el protocolo de Kioto tenemos: Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Metano(CH<sub>4</sub>), Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFC), per- fluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>). (Latake, P. Pawar, P. Ranveer, 2015)

(Vallecillo, C. Higuera, 2005), menciona que el protocolo de Kioto fue inscrito en el año 1992 dentro del convenio Marco de las Organizaciones Unidas (ONU), consistió en que los países no industrializados reduzcan sus emisiones de gases aproximadamente 5% para el periodo de 2008 a 2012

**Tabla 1.** Gases efecto invernadero más importantes y que afectan al cambio climático

<b>GAS</b>	<b>Formula</b>	<b>Fuente de emisión</b>	<b>Años de permanencia en la atmósfera</b>
<b>Dióxido de carbono</b>	CO <sub>2</sub>	Transporte, procesos industriales, calefacción e incineración	100 años
<b>Metano</b>	CH <sub>4</sub>	Descomposición de desechos orgánicos, agricultura y cría de ganado	10 años
<b>Óxido nitroso</b>	N <sub>2</sub> O	Combustión de desechos sólidos y combustibles fósiles	170 años
<b>Hidrofluorocarbonos</b>	HFCs	Fabricación de Aerosoles,	60 – 100 años
<b>Perfluorocarbonos</b>	PFCs	Fabricación de refrigerantes y espumas	100 años
<b>Hexafluoruro sulfúrico</b>	SF <sub>6</sub>	Aislante de interruptores, equipos eléctricos y fabricación de semiconductores	80 años

**Fuente:** Valecillo, 2005  
**Elaborado por:** Miranda, 2020

El Convenio Marco de las Naciones Unidas acuerda el compromiso de la estabilización de las concentraciones de gases efecto invernadero (GEI) mediante la compilación y actualización de datos a través del Inventario Nacional de GEI como instrumento para el desarrollo sostenible y que la alimentación no se vea amenazada, 83 países firmaron y 46 ratificaron el Protocolo de Kioto para reducir sus emisiones de gases con efecto invernadero en un 5,2% de media en el periodo 2008-2012. (FAO, 2015).

Para la reducción de GEI en nuestro país se requiere de acciones de mitigación y de adaptación considerando los siguientes sectores prioritarios Agricultura, Uso del suelo cambio de uso del suelo y silvicultura, Energía, Manejo de desechos sólidos y líquidos y procesos industriales. (MAE, 2012).

En la Tercera Comunicación Nacional del Ecuador el sector Energía se encuentra como el mayor aportador con un 46,63% seguido del sector USCUS con el 25,35%, El sector Agricultura genera el 18,17%, Procesos Industriales y Residuos con el 10% de emisiones de GEI emitidas a la atmosfera. (MAE, 2017).

**Tabla 2.** Gases efecto invernadero más importantes y que afectan al cambio climático

<b>Sectores</b>	<b>%</b>
<b>Sector Energía</b>	46,63
<b>Sector Procesos Industriales</b>	5,67
<b>Sector Agricultura</b>	18,17
<b>Sector USCUS</b>	25,35
<b>Sector Residuos</b>	4,19
<b>TOTAL</b>	100

**Fuente:** Tercera Comunicación Nacional del Ecuador, 2016  
**Elaborado por:** Miranda, 2020

(Castañeda, H. Céspedes, C. Madrigal, 2016) en su investigación menciona la importancia de los combustibles fósiles en la emisión de gases efecto invernadero poniendo como ejemplo la producción mundial de cemento y transporte que han liberado alrededor del 68% de carbono a la atmosfera; en este trabajo realizado en Colombia ciudad de Ibagué se realizó la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero en las estaciones de servicio de combustible, obteniendo como resultado que por concepto de ventas de combustible se emite 368 Gg CO<sub>2</sub>e/año de los cuales el 60 % proviene del diésel, el 36 % de la gasolina y solo el 4 % de gas natural vehicular y como medida de mitigación se menciona la implementación de sistemas productivos y agroforestales como capturadores de carbono, además de la implementación de ciclo vías acceso mejoramiento de vías para caminar y limitaciones de vehículos particulares como es el caso de China logrando de esta manera reducir sustancialmente el impacto ambiental de las emanaciones de GEI.

#### **2.1.4. CH<sub>4</sub>**

El metano constituye el segundo gas en orden de importancia en cuanto a emisiones de GEI y en la agricultura los suelos agrícolas ya que alberga sumideros de carbono debido a la formación vegetal a partir de la fotosíntesis considerándose como sumideros la gestión de pastos, forestación, gestión de tierras agrícolas actividades como el cultivo de arroz ya que en el proceso de descomposición anaeróbica produce gas



metano y sus emisiones varían según el crecimiento del mismo; Fermentación entérica debido a la extensificación del ganado; quemas de sabanas y residuos agrícolas siendo una problemática en el suelo ocasionando desertificación y erosión en los mismos. (Maqueda , M. Carbonell , M. Victoria; Martínez & Flórez, 2005).

El metano es un gas que se produce por la descomposición anaeróbica de la materia orgánica. El metano en el año de 1994 mostro un incremento del 145% media global de metano teniendo un periodo de vida de 12 años, se proyecta cambios en las emisiones de metano en los años 1998 y 2100 entre -90 y +1970 partes por millón en volumen. (Martínez y Fernández ,2004).

El efecto negativo al medio ambiente que ha causado las emisiones de metano en los últimos años debido a la producción animal es de gran relevancia en cuanto a la fermentación que ocurre en el rumen dependiendo de la dieta puesto que esto ocasiona emisiones de gases lo que colabora en los efectos climáticos. Alrededor de 58 millones de toneladas métrica/año de metano son emitidas a la atmosfera por el ganado bovino que representa un 73% de producción de metano global, de todas las especies domésticas. Bajo las condiciones mencionadas disminuir la población bovina como alternativa de disipar los efectos medioambientales no es una opción debido al incremento de la población mundial y a la alta demanda de fuentes alimenticias de origen animal. (Carmona, Bolívar, & Giraldo, 2005).

La Organización Meteorológica Mundial en el 2012 menciona que el metano(CH<sub>4</sub>) constituye uno de los tres principales GEI de larga duración que interactúan en la atmosfera, a nivel mundial se observó un incremento del 40% emitidas de fuentes naturales y un 60% de actividades antropogénicas. (OMM, 2013).

Según el Ministerio del Ambiente para el año 2012, se contabilizaron 11 724,12 Gg de CO<sub>2</sub>-eq de este gas, que se generaron principalmente en el sector Agricultura, representando el 65,57% del total; después se encuentran el sector Residuos, que aportó el 26,33%, y, finalmente, el sector Energía, con un 8,10% del total de emisiones de CH<sub>4</sub>

**Tabla 3.** Resumen del total de emisiones de metano para el año 2012

SECTORES	%
<b>Sector Energía</b>	8.10

<b>Sector Agricultura</b>	65,57
<b>Sector Residuos</b>	26,33
<b>TOTAL</b>	100

**Fuente:** Tercera comunicación GEI, 2016

**Elaborado por:** Miranda, 2020

Para el año 2035 se proyecta que la participación de combustibles líquidos, gas natural y carbón sea del 60.2%. Para el año 2010, se estimó la emisión mundial de CO<sub>2</sub> en 30.3 Gt; de las cuales, el 41% corresponde a la generación eléctrica y de calor. Por otra parte, las fuentes renovables (como las hidroeléctricas, biomasa, parques eólicos y fotovoltaicos) y de energía nuclear, generan electricidad con una emisión mínima o nula de GEI, aunque presentan otros impactos o riesgos ambientales. (Parra, 2015b).

A su vez para el actual periodo 2013, 2020, la Comisión Europea ha establecido que las emisiones de CO<sub>2</sub> de la actividad industrial deberán reducirse en 2020 en un 20% respecto a 1990, mientras que la reducción media exigida al sector del refino es de un 25%30%, lo que implica un esfuerzo suplementario a este sector. (Cepsa, 2015).

### **2.1.5. Biodigestores**

Un biodigestor es un contenedor cerrado hermético en el cual se depositan residuos orgánicos que pueden ser excretas de animales o humanos restos agrícolas para que a través de un determinado tiempo y proceso de fermentación anaerobia debido a microorganismos bacterianos se obtenga gas metano, de allí radica la adopción de los biodigestores sobre todo en área donde el acceso a fuentes de energía es limitado esto se ha observado en campos agrícolas de Ecuador, Costa Rica, Colombia. (Sevillano, A. Rivero, 2016).

El uso de biodigestores ayudara a reducir la contaminación debido a que se evitara verter residuos orgánicos a ríos y quebradas, reciclando dichos residuos y transformarlos en abonos de buena calidad siendo una alternativa entre la agricultura orgánica y tradicional por ende mejor producción en cultivos, como también se reduce el efecto invernadero debido a las emisiones que producen estos desechos al medio ambiente. (Giorda & Suárez, 2017).

### **2.1.6. El Biogas**

El biogás constituye un tipo de energía alternativa a partir de biomasa generada por la descomposición de residuos orgánicos mediante un proceso de fermentación anaeróbica o aeróbica que se da en biodigestores para la captura del gas metano al final de este proceso también podemos obtener biol utilizado como fertilizante rico en nitrógeno, fosforo y potasio. (Godoy, M. Silva, M. Palacios, 2018).

La Asociación para el Estudio de los Residuos Sólidos en Buenos Aires, menciona que mientras mayor sea la cantidad de residuos orgánicos incrementara la producción de biogás debido al proceso de descomposición anaeróbica que presenta la misma al finalizar este proceso. Entre los componentes típicos del Biogás tenemos al metano(CH<sub>4</sub>), entre un 50 % a 60%, Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) DEL 40% AL 50%, Compuestos Orgánicos no metálicos (NMOCs), Poder Calorífico de 4166Kcal/Nm<sup>3</sup>, Contenido de Humedad. (Weihs, 2011).

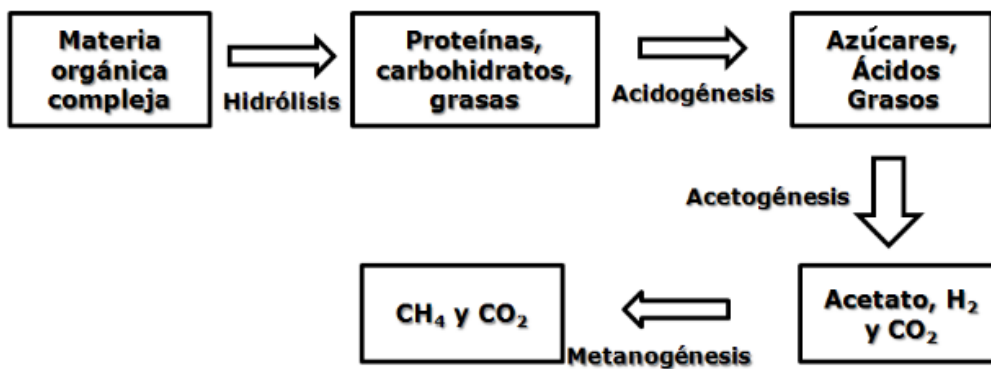
Dentro de las ventajas económicas que podemos obtener con la producción de biogás es la reducción de uso de energía eléctrica por energías menos contaminantes, como también el uso de bioabonos. (ARCONEL, 2015). Por otro lado, la captura del biogás a través de los biodigestores constituye una oportunidad laboral en el aprovechamiento de residuos y contribuye a la disminución de olores a la atmosfera, pero la complejidad en instalación y diseños de este sistema a gran escala conlleva altos costos. (Yang, G. Zhang, P. Zhang & Wang, Y. Yang, 2015).

El biogás ha sido utilizado como recurso energético renovable durante y después de la última guerra mundial tanto en la descomposición de residuos agrícolas, estiércol de animales, gas de pantanos, los cuales contienen gran cantidad de metano (50 a 70%) seguido de anhídrido carbónico, hidrógeno, oxígeno y otros gases. (Lockett, 1997).

### **2.1.7. Digestión Anaerobia**

Es un proceso mediante el cual los microorganismos descomponen el material biológico en ausencia de oxígeno transformándolo en un gas de un elevado contenido energético denominado biogás. En el proceso de la biodegradabilidad del biogás ocurren algunas fases entre las principales tenemos: Hidrólisis, Acetogénesis y Metanogénesis. (Garrido, Flotats, Fernández, & Palatsi, 2009).

La Digestión Anaerobia es un proceso en el cual por ausencia de oxígeno y fermentación de la materia orgánica intervienen microorganismos para su descomposición, obteniendo como resultado el biogás (mezcla de metano y dióxido de carbono). La biomasa juega un papel importante dentro del proceso ya que depende del tipo de materia prima y contenido de humedad del mismo, entre la materia prima más utilizada tenemos a residuos agroindustriales, ganaderos, agrícolas, plantas de aguas residuales, residuos domésticos. El potencial calorífico obtenido es utilizado generalmente como combustible además de insumo agrícola como fertilizante. Dentro del proceso de la materia el 90% se convierte en metano mientras que solo el 10% se utiliza en el crecimiento bacteriano. (Acosta, Y. Obayo, 2005)



**Figura 1.** Esquema general de la degradación anaerobia (Gomez, 2008)

### 2.1.8 Bases Microbiológicas del proceso Anaerobio.

#### Hidrólisis.

(Reyes, 2017), menciona que la primera fase del proceso Anaerobio lo constituye la hidrólisis en la cual los organismos fermentativos son los encargados de que las moléculas complejas sean hidrolizadas en compuestos solubles, los microorganismos acidogénicos se encargan de fermentar compuestos solubles como son ácidos grasos de cadena corta los mismo a su vez se transforman en dióxido de carbono, hidrógeno y en acético lo que ocasiona un descenso de Ph con valores de 5,5 aproximadamente , la

composición del sustrato(alto en sólidos), temperatura, tamaño de las partículas y su pH determinarían la velocidad de este proceso.

En este proceso intervienen anaerobios estrictos como bacteroides, clostridium y bacterias facultativas como el estreptococci que van a contribuir en la descomposición de macromoléculas y poder ser utilizadas como fuente de alimento y energía debido a las enzimas extracelulares que van a cortar las moléculas grandes en pedazos más pequeños, en la hidrólisis encontramos microorganismos encargados de la descomposición de proteínas que reciben el nombre de proteolíticos y sacarolíticos los microorganismos que rompen los azúcares.(Parra, 2015a)

### **2.1.9 Acidogénesis**

En este segundo proceso se degrada el material fermentado producto de la hidrólisis mediante microorganismos metanógenos y compuestos orgánicos para ser reducidos a pequeños sustratos, en este proceso el 70% de metano es formado por el ácido acético, propiónico, y butírico fundamentalmente. Los Ácidos Grasos Volátiles (AGV) constituyen uno de los principales productos de la fermentación orgánica y son intermediarios degradativos, así como precursores directos de la formación de metano. (Reyes, 2017).

En esta etapa también se considera que de acuerdo a la concentración de hidrogeno que se formó en la etapa de fermentación y si su presión parcial fuese alta disminuiría los componentes reducidos es decir aminoácidos, azúcares, y ácidos grasos son convertidos en ácidos orgánicos y alcoholes (Parra, 2015a)

### **2.1.10 Acetogénesis**

Mediante la acción de bacterias acetogénicas producto de la fermentación algunos organismos de cadena larga son transformados en productos más sencillos como son acetato e hidrógeno interviniendo bacterias como, Syntrophobacter sp., Syntrophomonas sp. y Desulfovibrio sp. Las reacciones termodinámicas llegan a ser favorables con presiones de hidrogeno bajas ( $10^{-4}$  -  $10^{-5}$ atm) al permitir la síntesis de proteínas ATP y un crecimiento bacteriano, siendo el hidrogeno molecular el principal inhibidor de la acetogénesis.

Entre los microorganismos metanogénicos encontramos a los llamados homoacetogénicos, los mismos que son capaces de producir acetato debido a la presencia de azúcares y compuestos monocarbonados, en el metabolismo de estos microorganismos

no se produce hidrogeno más bien es consumido como sustrato provocando un descenso de presión del hidrogeno lo que hace posible la actividad de las bacterias acidogénicas y acetogénicas. (Serrano, 2015)

### **2.1.11 Metanogénesis**

La Metanogénesis es el último proceso en la formación del metano a partir de la materia orgánica y sustratos monocarbonados es decir H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> como también de organismos metanogénicos como se encuentra dentro del dominio Archaea. (Madigan, Martinko, & Parker, 1998).

El proceso de Digestión Anaerobia se completa con la formación de metano el mismo que utiliza dos alternativas, el primer proceso lo llevan a cabo las bacterias metanogénicas acetoclásticas que es utilizado el ácido acético como sustrato, el segundo proceso intervienen el hidrogeno y dióxido de carbono para obtener metano por medio de bacterias denominadas metanobacterias hidrogenófilas. (Acosta, Y. Obayo, 2005)

Las reacciones que se pueden dar en este tipo de microorganismos son:

- Conversión de acetato en metano por las archaeas metanogénicas acetoclásticas: las mismas que son llevadas a cabo por el género Methanosarcina y Methanotrix. Teniendo como resultado metano y dióxido de carbono. (Chynoweth & Isaacson, 1987)
- Formación de metano a partir del CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub> por las archaeas homoacetogénicas: en este proceso debido a la fermentación en el digestor la formación de metano y dióxido de carbono controla el potencial redox de esta manera contribuye a una eficiencia termodinámica. (Zeikus, 1979).

### **2.1.12 Biomasa**

(Castro, 2012) conceptualiza a la biomasa como la única energía renovable que puede sustituir a los combustibles fósiles teniendo como combustibles de primera generación aquellos que provienen de materia prima alimenticia como es la caña de azúcar, aceite de palma, soya y los de segunda generación aquellos que ocasionan menos impacto en emisiones de gases de efecto invernadero en cuanto a uso de suelo y agua que provienen de residuos agrícolas ; (Panel & Change, 2012), menciona que las emisiones han presentado un incremento a finales del 2010 a más de 390 ppm de emisiones de CO<sub>2</sub> por encima de los niveles pre industriales.

### **2.1.13. Conversión de la Biomasa en energía. Sostenibilidad energética en Ecuador.**

En la zona Andina del Ecuador la producción ganadera y agrícola debido a la generación de residuos orgánicos presenta un problema ambiental de ahí el manejo de la biomasa permitirá suplir necesidades de consumo energético (Matovelle & Matovelle, 2018). Los estudios realizados en Ecuador para la utilización de energías renovables manifiestan que las necesidades energéticas presentan potenciales avances en cuanto a residuos agrícolas con un 50% seguido de residuos animales y municipales con un 16 y 42%. (Horta, 2005).

### **2.1.14. Disposición de Residuos Orgánicos**

Entre los sectores que producen gran cantidad de residuos tenemos al sector primario constituido por residuos agrícolas ganaderos y forestales, seguido del sector agroindustrial con desechos textiles, curtiembres, papel etc. Finalmente tenemos el sector terciario en el que encontramos residuos urbanos, domésticos aguas residuales de ahí el desarrollo de la industria agroalimentaria la concentración poblacional y el desarrollo de actividades agrícolas y ganaderas, han favorecido en gran medida la producción de residuos los mismos que han ocasionado problemas fitosanitarios y pérdida de ecosistemas naturales. (Marchaim, U. Levanon, D. Danai, O. Musaphy, S. Chen & Inbar, Y. Klinger, 1991)

Según un estudio realizado por (Sánchez, 2008), en su investigación para conocer la problemática de los residuos de frutas generados en Medellín y el sur del Valle de Aburrá, se consultó el número de empresas que generan mayor cantidad de residuos alimenticios y cuál es su disposición final encontrando un total de 186 empresas encargadas de la elaboración de jugos, mermeladas, pulpas helados a base de frutas, de las cuales sólo el 30 % suministró la información completa puesto que estos residuos representa un costo económico relativamente alto, por lo que se hace necesario proponer diferentes alternativas de uso para estos residuos y así disminuir estos gastos.

En la investigación realizada por (Flotats, Campos, & Bonmatí, 2001) en la zona de Lleida se analizó dos tipos de residuos industriales producidos en grandes cantidades, la pulpa de pera y las tierras decolorantes de aceite de oliva (TDO). En la cual se realizó la co-digestión de estos residuos con purines de cerdo y por separado para observar la producción de biogás y posibilitar una vía de producción energética. Los reactores

anaerobios consistieron en viales de vidrio de 120 mL de capacidad, con 50 g de muestra y 5 g de inóculo, cerrados herméticamente con tapones de goma y cápsula metálica, y se pusieron en incubadora a 35° C. durante 75 días, obteniendo como resultado que la co-digestión de la industria alimentaria con los purines de cerdo superan la producción de biogás a las obtenidas por separado de cada residuo considerándose uno de los procesos más idóneos para la reducción de Gases de Efecto Invernadero y aprovechamiento de residuos orgánicos.

(López, R, Quinto, P, Aguilar, H, Garibay, 2014) realizaron una investigación en la ciudad de México de residuos orgánicos putrescibles para evaluar el potencial de biogás y producción de ácidos orgánicos se utilizaron 2 tipos de sustratos residuos de frutas y verduras que fueron colocados en 2 biodigestores y residuos de plátano colocado en un biodigestor, a los cuales se realizaban medidas diarias de volumen de gas a una temperatura entre 16 y 26°C a lo largo de 217 días , como resultado se obtuvo un mayor rendimiento de biogás en el digestor con residuos de plátano con 435 ml de biogás pero con mayor variación en el tiempo de digestión, en los biodigestores de frutas y verduras si bien es menor la producción de biogás con 420ml mostro una menor tendencia de variación.

(Espinal, J. Olvera, O. Hernández, V. Morillón, 2016) en su investigación realizada con biodigestores y masa seca de excretas de vaca y cerdo horneadas durante 48 horas a 105 °C para luego incinerarlas y obtener masa volátil, se procede hacer la mezcla con agua en los biodigestores tomando como datos porcentaje de metano, temperatura, presión del biogás y Ph durante las primeras 15 semanas, cada tercer día obteniendo como resultado que las excretas de cerdo produjeron biogás durante 10 semanas siendo su punto máximo en la tercera semana mientras que las de vaca en la semana 8 hubo mayor producción de biogás y permaneció así hasta la semana 25, se menciona que la diferencia en las dos muestras se deba a la solubilidad de las excretas puesto que los desechos porcinos presentaban una elevada cantidad de gránulos que se sedimentaron en el biodigestor a diferencia de los desechos bovinos que estuvo más homogénea

Según la investigación realizada por, (González, M. Pérez, S. Wong, A. Bello, R. Yáñez, 2015) los residuos agroindustriales constituyen una alternativa en los procesos de digestión anaerobia, lo que depende la producción de biogás de la microbiota y composición presente en los residuos como son los hidratos de carbono además de las



condiciones ambientales, es por ello que en esta investigación se realizó una comparación de producción de metano entre residuos de mango, papaya y plátano con la adición de un inóculo microbiano, obteniendo como resultado la mayor emisión de gas metano en la digestión anaerobia del plátano probablemente a su alto contenido de azúcares, proteínas, almidón que son utilizadas por los microorganismos en el proceso de fermentación.

En la Región Central de Costa Rica se realizó un ensayo con la instalación de 4 biodigestores a escala, en los cuales al biodigestor 1 se le agregó 7,8lt de agua residual del TEC (planta de tratamiento de aguas residuales del Tecnológico de Costa Rica) y 200 g de lirios desecados y triturados, Al biodigestor 2 se le adicionaron 8 l de agua residual Iztaru, (laguna que trata las aguas domésticas provenientes del residencial Iztarú ubicada en los alrededores del TEC) al biodigestor 4 se le adiciono 8lt de agua residual TEC y al biodigestor 5 se le agregó 7,8l de agua residual Iztarú y 200g de lirios triturados y desecados obteniendo como resultado la mayor emisión de metano del biodigestor 1 con una productividad metanogénica del 70% seguido del biodigestor 2 y 4 con un 40%, en el caso del biodigestor 5 alcanzó un máximo de metano cerca al 50% lo que nos demuestra que es posible obtener una mayor producción de metano a partir de la mezcla de residuos orgánicos y desechos de plantas de tratamientos. (Watson, R. Solano, 2012)

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar el efecto de los desechos de fresa (*Fragaria ananassa*) enriquecidos con desechos pecuarios sobre el incremento de la producción de metano in vitro

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar el efecto de la biomasa residual pecuaria (Cerdaza, ovinaza) sobre la producción de biogás.
- Determinar el efecto de la biomasa residual pecuaria enriquecida con desechos de fresa (*Fragaria ananassa*) sobre la producción de metano.
- Determinar la composición de ácidos grasos volátiles en el proceso de digestión anaerobia

## **CAPÍTULO III**

### **3.1. Metodología**

#### **3.1.1 Enfoque**

El presente proyecto tiene un enfoque en el cual se pueda obtener biogás in vitro de carácter experimental en laboratorio, además que la biomasa tiene un aporte energético necesario en el entorno siendo un sistema idóneo de eliminación de residuos y mejorar el ambiente.

#### **3.1.2 Modalidad básica de la investigación**

Experimental: la investigación es de carácter cuantitativo ya que se realizó a nivel de laboratorio.

#### **3.1.3 Hipótesis**

¿Las biomásas residuales pecuarias en mezcla con desecho de cultivo de fresa mejoran la producción y calidad del biogás?

#### **3.1.4 Señalamiento de variables**

##### **Variable independiente**

- Cantidad de biomasa con desechos de cultivo de fresa (*Fragaria ananassa*)

##### **Variable dependiente**

- Producción de gas metano in vitro.
- Producción de biogás
- Composición de Ácidos grasos Volátiles

### **3.1.5 Nivel o tipo de investigación**

La investigación se realizó a nivel de laboratorio por lo que se la considera de tipo exploratoria ya que se determina la combinación de desechos del cultivo de fresa con biomasa pecuaria enriquecida.

### **3.1.6 Población y muestra**

Al tratarse de una investigación con enfoque experimental no es necesario método de muestra.

### 3.2 Operacionalización de variables

#### 3.2.1 Variable independiente

**Tabla 4.** Operacionalización variable independiente

CONCEPTUALIZACION	CATEGORIAS	INDICADORES	INDICE
El uso de diversas cantidades de desechos de cultivo de fresa ( <i>Fragaria ananassa</i> ) potencializan las emisiones de gas metano	Desechos del cultivo de fresa ( <i>Fragaria ananassa</i> )	40%  30%  20%  10%	gramos

### 3.2.2 Variable dependiente

**Tabla 5.** Operacionalización variable dependiente

CONCEPTUALIZACION	CATEGORIAS	INDICADORES	INDICE
Al generarse gas metano intervienen diversos mecanismos los cuales se realizará su registro de acuerdo al ensayo realizado <i>in vitro</i>	Producción de metano	Mililitros de gas producido	Mililitros
	Producción de biogás	Mililitros de gas producido	Mililitros
	Composición de Ácidos grasos Volátiles	Milimols/litro de AGV	mmol/mol

### 3.3 Recolección de información

#### 3.3.1 Ubicación del ensayo

El ensayo se realizará en la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias Agropecuarias en el laboratorio de Investigación de Ruminología.

#### 3.3.2 Caracterización del lugar

La investigación se llevará a cabo en el laboratorio de Investigación Ruminología, Facultad de Ciencias Agropecuarias, de la Universidad Técnica de Ambato ubicada en el barrio El Tambo cantón Cevallos, provincia de Tungurahua, Ecuador. Con una altitud de 2850 msnm, y de coordenadas geográficas 01°24'02" Sur y 78°35'20" Oeste. (Datos tomados con GPS, Sistema de Posicionamiento Global)

### 3.4 Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA)

### 3.5 Análisis estadístico

Con los datos obtenidos a nivel de laboratorio se efectuó las pruebas de Tukey al 5 %.

### 3.6. Manejo del ensayo

### 3.7. Factores en estudio

**Tabla 6.** Descripción de factores de estudio

<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>
T1	Cerdaza 60% + 40% fresa
T2	Cerdaza 60% + 30% fresa + 10% ovinaza
T3	Cerdaza 60% + 20% fresa + 20% ovinaza
T4	Cerdaza 60% + 10% fresa + 30% ovinaza
T5	Cerdaza 60% + 40% ovinaza

## CAPÍTULO IV

### 4.1 Resultados

#### 4.1.1 Producción de gas y metano

En la tabla 7, se observa que la producción de gas fue mayor ( $P=0.0001$ ) en el tratamiento T4 (201.2 ml/kg). No obstante, la producción de metano ocupa el mismo rango ( $P=0.0001$ ) en el T5 (7,0 ml/kg)

#### 4.1.2 Producción de ácidos grasos volátiles

Se puede apreciar una mayor ( $P=0.0001$ ) producción de ácido acético en el tratamiento T1 con respecto a los demás tratamientos. Con respecto al ácido propiónico la mayor ( $P=0.0001$ ) producción se la observó en el T3 y en el ácido butírico no se observó diferencias ( $P=0.9807$ ) entre los tratamientos evaluados (Tabla 7)

**Tabla 7.** Consolidado de resultados obtenidos

	T1	T2	T3	T4	T5	ESM	P
Producción de gas (ml/kg)	142.16b	130.20b	158.28b	201.24a	193.56a	8.50	<0.0001
Producción de metano (ml/kg)	3.8b	1.7b	2.3b	6.8a	7.0a	0.59	0.0001
AGV mmol/mol							
Acético	64.7a	60.6c	60.2c	62.6b	61.4bc	0.34	0.0001
Propiónico	20.6d	24.6ab	25.0a	22.5c	23.7b	0.26	0.0001
Butírico	14.6a	14.6a	14.6a	14.8a	14.8a	0.31	0.9807

Es necesario indicar que la medida del volumen del biogás producido, fue realizada mediante jeringas plásticas y la lectura fue a simple vista para evitar errores en los datos, se ajustaron por medio de procesos de regresión lineal.

## 4.2. Análisis de Resultados

De acuerdo al análisis realizado los mejores resultados para producción de biogás, se presentaron en dos tratamientos: T4 (C60% - F10% - O30%) con 201,24 ml/kg y el tratamiento 5 (C60% - 40% ovinaza) con un valor de 193.56 ml/kg, ocupando los dos el rango A de la prueba de Tukey al 5%; esto datos favorables en la producción de biogás concuerda con lo que refiere (Muñoz-Espinoza et al., 2019) en el cual las excretas que mayor cantidad obtuvieron vinieron de los cerdos y ovinos, determinando que los demás tratamientos en los cuales se adicionó residuos de fresa del 10% al 40% no fueron determinantes al producir biogás como lo manifiesta (Molnar & Bartha, 1988) en el cual indica que la fermentación por parte de los carbohidratos de estas frutas necesitan la adición sobre el 25% de estiércol para incrementar la producción de biogás como de metano; además como lo recalca (Ros et al., 2012) dependerá del material agrícola y parámetros de explotación como ph, alcalinidad, temperatura y relación de C/N, convirtiéndose estos subproductos como lo detalla (Muñoz, 2018) en biocatalizadores que mediante co-digestión anaeróbica incrementan el rendimiento en el proceso de producción, siendo el metano el más importante al momento de generar calor (Surendra, Takara, Hashimoto, & Khanal, 2014), los tratamientos T1, T2, T3 y T4 al poseer la adición de residuos de fresa en porcentajes del 10% al 40% respectivamente, se observó que no manifestó importancia alguna en la fabricación de energía renovable lo cual se debe a que poseer lignina en sus paredes inhiben el proceso anaeróbico, para lo cual como lo detalla (Serrano, 2015) debería existir el pretratamiento individual de digestión de la fresa antes de ser adicionada a los procesos fermentativos.

Con respecto al metano la investigación arrojó igual los valores más altos para T4 (C60% - F10% - O30%) con 6.8 ml/kg y el tratamiento 5 (C60% - 40% ovinaza) con 7.0 ml/kg ocupando el rango A de la prueba de Tukey al 5%, lo cual corrobora que el estiércol de los cerdos y ovinos conocidos con los nombres de cerdaza y ovinaza respectivamente generan la mayor cantidad de biogás como lo refiere en sus investigaciones (Pérez et al., 2018) en el cual le atribuye que al realizar un mix con el estiércol de ovinos se potencializa su poder de formación de este gas, así como lo corrobora (Núñez, Urrutia, González, & Urcelay, 1987) y (Møller, Sommer, & Ahring, 2004) en donde la mayor producción de gas se vio dentro del proceso de co-digestión anaeróbica de las excretas de cerdo y ovino; esto se debe a que posiblemente por la naturaleza de la ovinaza, permite una mejor



encapsulación de excretas, manteniendo microorganismos productores de metano. Los ovinos, por sus características digestivas, fermentan el alimento gracias a los microorganismos especializados presentes en el rumen, como bacterias anaeróbicas, protozoarios y hongos anaeróbicos, así como algunas arqueas, que producen metano a partir de dióxido de carbono (Van Horn, Wilkie, Powers, & Nordstedt, 1994)

Con respecto a la producción de ácidos grasos volátiles (AVG), se observa resultados significativos en la producción de ácido acético y ácido propiónico, mas no es así con el ácido butírico, lo que se contrapone con lo publicado por Jiménez, (2014), quien manifiesta que, el mayor porcentaje de AVG está en el ácido butírico con un 84-95% de recuperación, seguido del ácido propiónico con un 70-75%, y finalmente, el ácido acético con un 58-63% de recuperación. Para ácido acético se destaca T1 (C60% - F40%), esto se debe a que, este ácido es producido durante el proceso de digestión de los carbohidratos como lo refiere (Symons & Buswell, 1933) los cuales se presentan abundantemente con la aplicación de restos vegetales de fresa, los cuales, se caracterizan por su alto contenido de carbohidratos por digerir como la lignina lo cual lo manifiesta (Ros et al., 2012) y (Jiménez, 2014). Con respecto al ácido propiónico se destaca T2 (C60% - F30% - O10%) con 24.6 y T3 (C60%-F20%-O20%) con 25.0 respectivamente, manteniéndose no significancia entre los dos tratamientos, este ácido es producido por la intervención de bacterias procedentes de la ovinaza generado a partir de la codigestión anaeróbica la cual se caracterizan en descomponer almidón, azúcar y pectina, que se encuentra en el material vegetal fresco (fresa) como los detalla (Samaniego & Pedroza-Sandoval, 2013); Magaña, (2006) refiere que el ácido butírico se genera a partir del desdoblamiento de carbohidratos estructurales y azúcares, pero las proporciones de estos tratamientos, favorecen más la producción de ácido acético y ácido propiónico, por la presencia de la fresa como material vegetal fresco como lo refiere (Carillo, 2004; Muñoz, 2018); con respecto a que la cantidad del ácido propiónico es más baja que la del acético probablemente se debe a que los estudios cinéticos demuestran que los degradadores de este AGV son de crecimiento lento en este proceso de co-digestión anaeróbica como lo refiere (Nielsen, Uellendahl, & Ahring, 2007); y por ende Los AGV se oxidan y se forman como compuestos intermedios durante el tratamiento anaeróbico a hidrógeno, dióxido de carbono y acetato, denominándose los procesos deshidrogenación y acetogénesis, respectivamente como lo detalla (Öztürk, 1991) en el cual la investigación realizada mostró esa cinética entre el propiónico y acético.

## CAPÍTULO V

### 1.5.1. Conclusiones

- Los desechos de fresa (*Fragaria ananassa*) no influyó de manera significativa en la producción de biogás y metano in vitro, debido a que al poseer en su estructura cantidades de lignina inhibió el proceso de co-digestión anaeróbica
- El efecto de la cerdaza como la ovinaza en los tratamientos T4 y T5 respectivamente mostraron significancia en la formación de biogás como de metano, ya que al encontrarse en proporciones de estos estiércoles de más del 25% siendo esto lo óptimo para la codigestión anaeróbica, mostro una cinética adecuada de producción de gas y CH<sub>4</sub>, debido a que estos materiales de excreción manifiestan altos contenidos de nitrógeno y carbohidratos no estructurales para su producción.
- Con respecto a la composición de ácidos grasos volátiles en el proceso de digestión anaerobia, es evidente la alta producción de ácido acético en T1 (C60% - F40%) debido a la alta presencia de material vegetal fresco, en este caso de fresa mientras que la presencia de ácido propiónico se destaca su mayor producción en el T3 (C60%-F20%-O20%), este ácido es producido por la intervención de bacterias procedentes de la ovinaza, que se caracterizan en descomponer almidón, azúcar y pectina, que se encuentra en el material vegetal fresco (fresa). La cantidad de AGV en mayor cantidad de acético se da a que la microbiota productora es de más rápido crecimiento que la del AGV propiónico, elevándose el acético de manera más pronunciada.

### 1.5.2. Recomendaciones

- En la actualidad existen pocas investigaciones sobre el uso de pretratamientos químicos y/o enzimáticos sobre la producción de metano tomando en cuenta dificulta los procesos de digestión anaerobia, por esto se debería optimizar las tecnologías para la producción de biogás y obtener una mayor eficiencia en un reactor anaeróbico.
- Se recomienda realizar estudios de fermentación previa de la fresa para mejorar la producción de biogás como de metano.

- Experimentar con diferentes tipos de material vegetal fresco, y otros tipos de abonos como gallinaza y ovinaza.

## Bibliografía

- Acosta, Y. Obayo, M. (2005). La Digestión Anaerobia. Aspectos teóricos Parte I. Instituto Cubano de Investigaciones de Los Derivados de La Caña de Azúcar Cuba, XXXIX, 35–48.
- Armijos, D. (2010). Herpetofauna de un Bosque Húmedo Tropical en la Quinta “ El Padmi ” del Centro de Estudios y Desarrollo para la Amazonía ( CEDAMAZ ), provincia de Zamora Chinchipe. Revista Del Centro de Estudios y Desarrollo de La Amazonía, 1(October 2010), 1–94.
- Benavides, H. León, G. (2007). Información Técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el Cambio Climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, 99.
- Cadilhac, L. Torres, R. Calles, J. Vanacker, V. Calderón, E. (2017). Desafíos para la investigación sobre el cambio climático en Ecuador. Revista Neotropical
- Carillo, L. (2004). Energía de Biomasa. In *Transbioma* (1st ed.)
- Biodiversity, 3(1), 1–14. <https://doi.org/10.1080/23766808.2017.1328247>
- Carmona, J., Bolívar, D., & Giraldo, L. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 18, 49–63.
- Castañeda, H. Céspedes, C. Madrigal, M. (2016). Emisión de gases de efecto invernadero por uso de combustibles fósiles en Ibagué, Tolima (Colombia). Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 18(1), 103. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol18\\_num1\\_art:561](https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num1_art:561)
- Castro, M. (2012). Reflexiones en torno al desarrollo de los biocombustibles en Ecuador. Centro Ecuatoriano de Derecho Ambiental, 25, 1–6.
- Cepsa, D. (2015). El Cambio Climático y los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en Cepsa, 14. Retrieved from [https://www.cepsa.com/stfls/CepsaCom/Coorp\\_Comp/Medio Ambiente Seguridad Calidad/Articulos/Dossier-Cambio-Climatico-y-GEI.pdf](https://www.cepsa.com/stfls/CepsaCom/Coorp_Comp/Medio Ambiente Seguridad Calidad/Articulos/Dossier-Cambio-Climatico-y-GEI.pdf)
- Conde, C. (2006). México y el cambio climático global. Dirección General de Divulgación de la Ciencia.
- Cornejo, C. Wikie, A. (2010). De Estiércol a Energía - Captura de Metano en Ecuador. Tecnología ESPOL, 23, 135–142.

- Energía, M. de E. (2017). *Plan Nacional de Eficiencia Energética*. Quito-Ecuador.
- Espinal, J. Olvera, O. Hernández, V. Morillón, D. (2016). Potencial de generación de biogás de un rancho ganadero en la comunidad de San Bartolo Cuautlalpan. *Revista de Sistemas Experimentales*, 3(8), 36–52.
- Exteriores, M. de R. (2014). Crisis Ambiental Cambio Climático y Geopolítica. *Revista de Política Exterior*, 3, 208.
- FAO. (2015). Estimación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en la Agricultura. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://doi.org/978-92-5-308674-0>
- FAO. (2017a). El Trabajo de la FAO sobre el Cambio Climático. Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura, 39.
- FAO. (2017b). La estrategia de la FAO sobre el cambio climático. Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura, 52.
- FAO. (2017c). Pérdidas y Desperdicios de Alimentos.
- Flotats, X., Campos, E., & Bonmatí, J. P. A. (2001). Digestión anaerobia de purines de cerdo y co-digestión con residuos de la industria alimentaria. *Departamento de Medio Ambiente y Ciencias Del Suelo*, 65.
- Godoy, M. Silva, M. Palacios, J. (2018). LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS POR DEGRADACIÓN DE ABONO ORGÁNICO COMO ALTERNATIVA DE ENERGÍA EN ECUADOR CONTENIDO. *Revista Desarrollo Local Sostenible*, 11, 14.
- Gómez, F. (2008). Métodos secuenciales de pretratamiento químico y enzimático de residuos agrícolas para la producción de metano.
- González, M. Pérez, S. Wong, A. Bello, R. Yáñez, G. (2015). Residuos agroindustriales con potencial para la producción de metano mediante la digestión anaerobia. *Revista Argentina de Microbiología*, 47(3), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2015.05.003>
- INEC. (2016). Información Ambiental en Hogares.
- IPCC. (2001). Tercer Informe de Evaluación del IPCC. Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre El Cambio Climático, 3, 173.

- Izumi, K. (2010). Effect of Particle Size On Anaerobic Digestion Of Food Waste. *International Biodeterioration & Amp*, 64; 601-608.
- Jiménez, I. (2014). Validación de dos métodos cromatográficos: para determinar la composición de biogás y la concentración de ácidos grasos volátiles. San José, Costa Rica: UCR.
- Khalid, A., Muhammad, A., & Muzamil, A. (2011). The Anaerobic Digestion Of Solid Organic Waste. *Waste Management*, 31; 1737-1744.
- Latake, P. Pawar, P. Ranveer, A. (2015). El efecto invernadero y sus impactos en el medio ambiente. *Revista Internacional de Investigación Innovadora y Tecnología Creativa*, 1(3), 333–337.
- López, R, Quinto, P, Aguilar, H, Garibay, C. (2014). Evaluación de la producción de biogás a partir de residuos orgánicos putrescibles en la ciudad de México. *Revista de La Facultad de Ciencias Químicas Universidad de Cuenca*, 10, 104.
- López, R. (2010). Bioconversión de residuos sólidos para la obtención de energía (Metano y electricidad) utilizando digestores anaerobios y celdas de combustible microbianas.
- MAE. (2012). Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador 2012-2025. Gobierno Nacional de La República Del Ecuador, 143. Retrieved from <http://www.redisas.org/pdfs/ENCC.pdf>
- MAE. (2017). Tercera Comunicación Nacional del Ecuador (p. 630). p. 630.
- MAE. (2018). Estrategia nacional de cambio climático del Ecuador. Ministerio Del Ambiente, p. 153.
- Magaña, L. (2006). Producción de biogás a nivel de laboratorio utilizando estiércol de cabras. *Acta Universitaria*.
- Maqueda , M. Carbonell , M. Victoria; Martínez, E., & Flórez, M. (2005). Fuentes de emisión de gases de efecto invernadero en la agricultura. *Ingeniería de Recursos Naturales y Del Ambiente*, 4(January 2005), 14–18. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231117588003>
- Marchaim, U. Levanon, D . Danai, O. Musaphy, S .Chen, Y., & Inbar, Y. Klinger, I. (1991). A Suggested Solution for Slaughterhohse Wastes : Uses of the Residual Materials after Anaerobic Digestion. *Bioresource Technology*, 37, 127–134.
- Mata, A. J. (2013). Fundamentals of the anaerobic digestion process. *Iwa Publishing*, 1-15.

- Matovelle, C., & Matovelle, M. (2018). Tratamientos biológicos anaerobios de residuos orgánicos como alternativa para la sostenibilidad energética en zonas Andinas - Ecuador Anaerobic biological treatments of organic waste as an alternative for energy sustainability in Andean areas - Ecuador. *Revista Killkana Sociales*, 2(3), 95–100.
- Mejía, S. (2006). *Fundamentos de la digestión anaerobia*. Yucatán: UAY.
- Molnar, L., & Bartha, I. (1988). High solids anaerobic fermentation for biogas and compost production. *Biomass*, 16(3), 173–182. [https://doi.org/10.1016/0144-4565\(88\)90090-X](https://doi.org/10.1016/0144-4565(88)90090-X)
- Møller, H., Sommer, S., & Ahring, B. (2004). Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. *Biomass and Bioenergy*, 26(5), 485–495. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2003.08.008>.
- Muñoz-Espinoza, M., Barros-Rodríguez, M., Valencia-Nuñez, R., Mera-Andrade, R., Artieda-Rojas, J., Najarro, R., ... Romero-Fernández, A. (2019). Biogas production and in vitro CH<sub>4</sub> from excrement of cattle, shepp, pigs and hen. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22, 833–836. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.08.0>
- Muñoz, M. (2018). Producción de Biogas a partir de Biomasa residual pecuaria enriquecida con sub-productos agrícolas biocatalizadores. Universidad Nacional de Trujillo.
- Nayono, S. E. (2010). *Univalle Biblioteca Digital*. Obtenido de <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/xmlui/bitstream/handle/10893/7645/7720-0446398.pdf?sequence=1&isAllowed=y>: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/xmlui/bitstream/handle/10893/7645/7720-0446398.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Nielsen, H. B., Uellendahl, H., & Ahring, B. K. (2007). Regulation and optimization of the biogas process: Propionate as a key parameter. *Biomass and Bioenergy*, 31(11–12), 820–830. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.04.004>
- Núñez, F., Urrutia, F., González, E., & Urcelay, S. (1987). Determinacion química en excretas de cerdo sometidas a biodigestion anaerobia en laboratorio. *Avances En Ciencias Veterinarias*, 2(1), 42–46.
- OMM. (2013). Boletín sobre los gases de efecto invernadero. Organización Meteorológica Mundial, 6, 4–7. <https://doi.org/ISSN 2078-0818>

- Öztürk, M. (1991). Conversion of acetate, propionate and butyrate to methane under thermophilic conditions in batch reactors. *Water Research*, 25(12), 1509–1513. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(91\)90181-O](https://doi.org/10.1016/0043-1354(91)90181-O)
- Panel, I., & Change, C. (2012). Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Parra, R. (2015a). Digestión anaeróbica: mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la industria alimentaria. *Producción + Limpia*, 10(2), 142–159. Retrieved from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1909-04552015000200014](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1909-04552015000200014)
- Parra, R. (2015b). Factor de emisión de CO<sub>2</sub> debido a la generación de electricidad en el Ecuador durante el periodo 2001-2014. *Avances En Ciencias e Ingenierías*, 7(2), 2–5. <https://doi.org/10.18272/aci.v7i2.269>
- Perez, A., Pinto, R., Ley de Coss, A., Ramírez, R., Molina, L., Guevara, F., & Venegas, J. (2018). Estimación de la producción de metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de la cerdaza. *Avances En Investigación Agropecuaria*, 22(2), 35–45.
- Ramírez, V., Peñuela, L., Pérez, M. (2017). Los residuos orgánicos como alternativa para la alimentación en porcinos. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(2), 107–124.
- Reyes, E. (2017). Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos. *Revista Científica de FAREM. Medio Ambiente y Tecnología y Desarrollo Humano.*, 24, 22.
- Ros, M., Pascual, J. A., Ayuso, M., Belén Morales, A., Ramón Miralles, J., &
- Samaniego, J., & Pedroza-Sandoval, A. (2013). Usos potenciales de los ácidos grasos volátiles en suelo, agua y aire. *Terra Latinoamericana*, 31(2), 155–163.
- Serrano, A. (2015). *Tratamiento de residuos y subproductos agroindustriales mediante co-digestión anaerobia* (Universidad de Córdoba). Retrieved from [www.uco.es/publicaciones](http://www.uco.es/publicaciones)
- Solera, C. (2012). Salidas valorizables de los residuos y subproductos orgánicos de la industria de los transformados de frutas y hortalizas. *Residuos*, 130, 2–9.
- Sánchez, S. M. Y. L. J. M. N. y F. O. (2008). 1 ; 2 3, 61(1), 4422–4431.



- Santillán, V. Barra, J. Pellat, F., & Alvarado, L. (2016). Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Sistemas Agrícolas de México. *Revista Tierra Latinoamericana*, 34, 83–96.
- Serrano, A. (2015). Tratamiento de residuos y subproductos agroindustriales mediante co-digestión anaerobia, 1–319. Retrieved from [www.uco.es/publicaciones](http://www.uco.es/publicaciones)
- Severiche, C. Acevedo, R. (2013). Biogás a partir de residuos orgánicos y su apuesta como combustibles de segunda generación. *INGENIUM Revista de La Facultad de Ingeniería*, 6–15.
- Sevilla, M. Laville, E. Driha, O. (2013). Las energías renovables en España. *Estudios de Economía Aplicada*, 31, 35–58.
- Sevillano, A. Rivero, J. (2016). Producción de Biogás y compost a partir de Residuos Orgánicos recolectados del Complejo Arqueológico Huaca de la Luna. *Revista Ciencia y Tecnología*, 6781, 29–43.
- Symons, G., & Buswell, A. (1933). The methane fermentation of carbohydrates. *Journal of the American Chemical Society*, 55(5), 2028–2036. <https://doi.org/10.1021/ja01332a039>
- Smith, M. Myers, S. (2016). Impact of anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions on global human nutrition. *Nature Climate Change*. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0253-3>
- Solíz, M. (2015). Ecología política y geografía crítica de la basura en el Ecuador. *Revista Latinoamericana de Estudios Socio ambientales*, 17, 4–28. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.17.2015.1259>
- Surendra, K., Takara, D., Hashimoto, A., & Khanal, S. (2014). Biogas as a sustainable energy source for developing countries: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 846–859. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.015>
- Vallecillo, C. Higuera, M. (2005). Protocolo de Kioto Situación actual y perspectivas. *Situación Actual y Perspectivas*, 16.
- Varnero, M. (2011). *Manual de Producción de Biogás*. Santiago de Chile: FAO.
- Watson, R. Solano, O. (2012). Producción de metano a partir de desechos orgánicos generados en el Tecnológico de Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 25, 73–80.

- Weihs, J. (2011). Conceptos Básicos sobre Biogás. Asociación Para El Estudio de Los Residuos Sólidos, 25.
- Yang, G. Zhang, P. Zhang, G., & Wang, Y. Yang, A. (2015). Bioresource Technology Degradation properties of protein and carbohydrate during sludge anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 192, 126–130. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.05.076>
- Van Horn, H., Wilkie, A., Powers, W., & Nordstedt, R. (1994). Components of Dairy Manure Management Systems. *Journal of Dairy Science*, 77(7), 2008–2030. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77147-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77147-2)
- Verma, S. (2002). *Anaerobic Digestión of Biodegradable Organics in Municipal Solid Waste*. Columbia University
- Zeikus, J. L. (1979). Thermophilic bacteria: Ecology, physiology and technology. *Enzyme and Microbial Technology*( 4), 243-252.

## Anexos

### Análisis de la varianza

GAS (ml acumulado de cada tratamien

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
GAS (ml acumulado de cada ..	40	0.61	0.56	14.56

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	31275.46	4	7818.87	13.53	<0.0001
Tratamiento	31275.46	4	7818.87	13.53	<0.0001
Error	20232.38	35	578.07		
Total	51507.85	39			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=34.56261

Error: 578.0681 gl: 35

Tratamiento	Medias	n	E.E.
C60%F10%O30%	201.27	8	8.50 A
C60%O40%	193.56	8	8.50 A
C60%F20%O20%	158.28	8	8.50 B
C60%F40%	142.16	8	8.50 B
C60%F30%O10%	130.20	8	8.50 B

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

METANO (ml acumulado de cada trata

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
METANO (ml acumulado de c..	40	0.66	0.62	38.40

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	194.39	4	48.60	17.24	<0.0001
Tratamiento	194.39	4	48.60	17.24	<0.0001
Error	98.64	35	2.82		
Total	293.03	39			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.41326

Error: 2.8182 gl: 35

Tratamiento	Medias	n	E.E.
C60%O40%	7.01	8	0.59 A
C60%F10%O30%	6.87	8	0.59 A
C60%F40%	3.84	8	0.59 B
C60%F20%O20%	2.35	8	0.59 B
C60%F30%O10%	1.79	8	0.59 B

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

### Acético

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	Aj	CV
acetico	40	0,76	0,74	1,55	

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	103,91	4	25,98	28,29	<0,0001
trat	103,91	4	25,98	28,29	<0,0001
Error	32,14	35	0,92		
Total	136,06	39			

### Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,37760

Error: 0,9184 gl: 35

trat	Medias	n	E.E.	
1	64,74	8	0,34	A
4	62,68	8	0,34	B
5	61,44	8	0,34	B C
2	60,68	8	0,34	C
3	60,28	8	0,34	C

### Propiónico

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	Aj	CV
propionico	40	0,84	0,83	3,14	

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	102,03	4	25,51	47,53	<0,0001
trat	102,03	4	25,51	47,53	<0,0001
Error	18,79	35	0,54		
Total	120,82	39			

### Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,05315

Error: 0,5367 gl: 35

trat	Medias	n	E.E.	
3	25,05	8	0,26	A
2	24,68	8	0,26	A B
5	23,73	8	0,26	B
4	22,53	8	0,26	C
1	20,65	8	0,26	D

### Butírico

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
butírico	40	0,01	0,00	5,88

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,31	4	0,08	0,10	0,9807
trat	0,31	4	0,08	0,10	0,9807
Error	26,22	35	0,75		
Total	26,53	39			

### Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,24429

Error: 0,7492 gl: 35

trat	Medias	n	E.E.
5	14,84	8	0,31 A
4	14,80	8	0,31 A
3	14,68	8	0,31 A
2	14,65	8	0,31 A
1	14,61	8	0,31 A

## Fotografías

