



**DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LA EXCRETA DE POLLO PRODUCIDA EN
UNA GRANJA AVÍCOLA DEL MUNICIPIO DE LOS SANTOS PARA LA
COGENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y BIOGÁS PARA USO INTERNO DE
LA GRANJA**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

AUTORES

JENNIFER DANIELA QUIROGA RUEDA C.C 1005106544
LAURA VALENTINA VARGAS DELGADO C.C 1005540810
JESSICA NATALIA OSORIO FLOREZ C.C 1005107820

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
TECNOLOGIA EN PRODUCCION INDUSTRIAL
BUCARAMANGA, 25 DE JUNIO DE 2022



**DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LA EXCRETA DE POLLO PRODUCIDA EN
UNA GRANJA AVÍCOLA DEL MUNICIPIO DE LOS SANTOS PARA LA
COGENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y BIOGÁS PARA USO INTERNO DE
LA GRANJA**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

AUTORES

JENNIFER DANIELA QUIROGA RUEDA C.C 1005106544
LAURA VALENTINA VARGAS DELGADO C.C 1005540810
JESSICA NATALIA OSORIO FLOREZ C.C 1005107820

Trabajo de Grado para optar al título de
Tecnólogo en producción industrial

DIRECTOR

Ing. MSc. Fabian Ernesto Quesada Plata

GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS BÁSICAS APLICADAS- GICBA

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
TECNOLOGIA EN PRODUCCION INDUSTRIAL
BUCARAMANGA, 25 DE JUNIO DE 2022

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO,
MONOGRAFÍA, EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 1.0

Nota de Aceptación

_____ Aprobado_



Firma del Evaluador



Firma del Director

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado primeramente a Dios por darnos la posibilidad de cumplir con nuestra meta de haber culminado el proyecto y nuestra tecnología de manera efectiva.

A nuestros padres por su apoyo incondicional en nuestra formación académica fue esencial para sacar adelante nuestros sueños para un futuro mejor, dándonos consejos para seguir adelante y nunca abandonar nuestras metas.

A nuestro director de proyecto Fabian Quesada porque gracias a su conocimiento, apoyo y dedicación nos guio para direccionar y culminar el proyecto con éxito, en el que se representa toda nuestra formación.

AGRADECIMIENTOS

Escribo este apartado de agradecimientos para concluir nuestro proyecto de fin de grado. Ha sido una época de aprendizaje intenso no solo en el campo académico sino también a nivel personal. Nos gustaría dar las gracias a todas aquellas personas que nos han ayudado y apoyado durante este proceso.

En primer lugar, agradecer a Dios por brindarnos salud y vida para desarrollar satisfactoriamente nuestro proyecto de grado y cumplir con las metas y objetivos planteados durante el desarrollo del proyecto.

A nuestras familias por estar en los momentos que más los necesitamos brindándonos su apoyo y confianza.

Agradecemos a las Unidades Tecnológicas de Santander por habernos brindado los conocimientos necesarios para culminar nuestra carrera y permitir formarnos como personas integrales.

A nuestro director de proyecto el Ingeniero Fabian Quesada por haber sido la guía durante este largo proceso, por su contribución de valiosos conocimientos y experiencias profesionales que nos brindaron durante el trayecto de cada uno de los días de clases que compartimos y aprendimos cada día más ampliando nuestro aprendizaje.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	10
INTRODUCCIÓN.....	11
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	12
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.2. JUSTIFICACIÓN	13
1.3. OBJETIVOS	14
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	14
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.4. ESTADO DEL ARTE	14
2. MARCO REFERENCIAL.....	19
2.1. MARCO TEÓRICO	19
2.1.1. DIGESTIÓN ANAERÓBICA	19
2.2. MARCO LEGAL	21
2.3. MARCO AMBIENTAL	24
3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....	25
4. RESULTADOS	26
4.1. TECNOLOGÍAS PARA OBTENCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE EXCRETA DE POLLOS.....	26
4.1.1. HIDRÓLISIS	26
4.1.2. ACIDOGÉNESIS.....	26
4.1.3. METANOGÉNESIS	27
4.1.4. TIPOS DE BIORREACTORES	27
4.2. TECNOLOGÍAS PARA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE BIOGÁS	33
4.2.1. TURBINAS DE GAS	33
4.2.2. CELDAS DE COMBUSTIBLES	34
4.2.3. GENERADOR ELÉCTRICO	36
4.3. ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA EXCRETA DE POLLO	37
4.3.1. PROPORCIÓN POLLINAZA/AGUA	39
4.3.2. TEMPERATURA AMBIENTE	39
4.3.3. DIMENSIONES Y CAPACIDAD DEL BIODIGESTOR	39
4.3.4. APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS PARA SUPLIR AL DEMANDA ENERGÉTICA	40
4.4. ANÁLISIS ECONÓMICO	41

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO,
MONOGRAFÍA, EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 1.0

5.	<u>CONCLUSIONES</u>	44
6.	<u>RECOMENDACIONES</u>	45
7.	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del proceso de digestión anaeróbica.....	21
Figura 2. Tipos de biodigestores.	28
Figura 3. Biodigestor de flujo discontinuo o tipo batch	29
Figura 4. Biodigestor de balón plástico.....	30
Figura 5. Biodigestor de estructura sólida estática	31
Figura 6. Biodigestor de estructura sólida móvil.....	32
Figura 7. Biodigestor con desplazamiento horizontal	33
Figura 8. Esquema de funcionamiento de una turbina de gas	34
Figura 9. Esquema de funcionamiento de una celda de combustible de hidrógeno.	35
Figura 10. Esquema de funcionamiento de un generador eléctrico	36
Figura 11. Esquema del sistema de cogeneración de electricidad y biogás a partir de la excreta de pollo	42

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Marco legal aplicable al proyecto.	22
Tabla 2. Composición fisicoquímica de la pollinaza recolectada.....	38
Tabla 3. Flujo de caja del proyecto del biodigestor para generación de biogás a partir de pollinaza.....	43

RESUMEN EJECUTIVO

En este trabajo de investigación se propuso la determinación del potencial de la excreta de pollo producida en una granja avícola del municipio de Los Santos para la cogeneración de energía eléctrica y biogás para uso interno de la granja. Para ello, se identificaron las tecnologías comerciales de mayor potencial para la cogeneración de energía eléctrica y biogás a partir de la excreta de pollo a pequeña escala mediante una revisión bibliográfica actualizada, se estimó el potencial de generación de energía eléctrica y biogás de la excreta de pollo recolectada de una granja avícola del municipio de Los Santos a partir de su caracterización fisicoquímica y se realizó un análisis económico del potencial de implementación de un sistema de cogeneración de energía eléctrica y biogás para el uso interno de la granja.

Lo anterior permitió proponer un sistema de generación de biogás a partir de un reactor tipo balón de flujo continuo con capacidad para producir todo el biogás que se requiere para el sostenimiento de un galpón con capacidad para 2500 pollos de engorde, ahorrando al productor el costo de adquisición de propano al que se ve sometido constantemente, mientras que la cogeneración de electricidad se ve limitada debido al alto costo inicial para la adquisición del motor de generación.

PALABRAS CLAVE. Pollinaza, biogás, cogeneración, digestión anaeróbica.

INTRODUCCIÓN

La industria avícola produce excesivas cantidades de estiércol que se acumulan en el entorno de las granjas generando múltiples problemas ambientales; tales como, la emisión de gases de efecto invernadero, la generación de lixiviados y el desarrollo de microorganismos potencialmente patógenos que constituyen una amenaza para la salud humana y animal (Ariza Andrade, 2017). Es bien conocido que a partir de estos residuos se puede obtener biogás mediante un proceso anaerobio y, a partir de este, electricidad a través de un proceso de cogeneración.

En el país se producen cerca de 59.000 toneladas diarias de excreta (gallinaza o pollinaza) producto de la deposición de 380 millones de pollos y 24 millones de ponedoras (TIEMPO, 1998) (UIS, UPME e Ideam, 2011). Santander es considerado el centro de la industria Avícola de Colombia, la producción de excreta de gallina es de aproximadamente 4800 toneladas/día en más de 1.000 granjas (UNAL y UPME, 2017). Esto genera un gran potencial para la implementación de sistemas que permitan ejecutar un aprovechamiento de estos residuos a pequeña escala, tal que posibilite a las granjas avícolas pequeñas su implementación y la reducción de costos en el proceso de producción de aves para la industria alimentaria.

Por ello, en este proyecto se propone la determinación del potencial de la excreta de pollo producida en una granja avícola del municipio de Los Santos para la cogeneración de energía eléctrica y biogás para uso interno de la granja, basado en un análisis de las tecnologías actuales para la generación eficiente y económica de biogás y electricidad.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hoy en día se están viendo cambios significativos en la demanda de electricidad a nivel mundial, la Agencia Internacional de la Energía (IEA; por sus siglas en inglés) prevé que se elevará un 30 % para el 2040 (IEA, 2021). La mayor parte de la energía mundial se genera a partir de fuentes no renovable; sin embargo, para el 2019 un 26 % del total de la energía se obtuvo a partir de fuentes renovables (IEA, 2019). Dentro de las fuentes de energía renovables, los residuos biomásicos presentan un gran potencial energético, especialmente aquellos que se generan en procesos agrícolas. En este sentido, Colombia produce una gran cantidad de diferentes tipos de biomasas, ubicándose como el tercero en América Latina (UIS, UPME e Ideam, 2011). Dentro de estos residuos se encuentran los provenientes del sector avícola, en donde el departamento de Santander es el mayor productor (UNAL y UPME, 2017).

La industria avícola produce excesivas cantidades de estiércol¹ que se acumulan en el entorno de las granjas generando múltiples problemas ambientales; tales como, la emisión de gases de efecto invernadero, la generación de lixiviados y el desarrollo de microorganismos potencialmente patógenos que constituyen una amenaza para la salud humana y animal (Ariza Andrade, 2017). Es bien conocido que a partir de estos residuos se puede obtener biogás mediante un proceso anaerobio y, a partir de este, electricidad a través de un proceso de cogeneración. Sin embargo, este tipo de procesos solo se encuentran desarrollados a escala industrial (FENAVI, 2019), limitando su aplicación en granjas de pequeña escala.

¹ Este estiércol comúnmente se conoce como gallinaza (excreta de la gallina) o pollinaza (excreta del pollo), dependiendo del tipo de ave de donde provenga el residuo.

Dado lo anterior, este proyecto plantea como pregunta de investigación el determinar si la excreta de gallina, producida en una granja avícola del municipio de Los Santos (Santander), presenta potencial para la cogeneración de energía eléctrica y biogás para uso interno de la granja, a través de un proceso industrial a pequeña escala.

1.2. JUSTIFICACIÓN

En el país se producen cerca de 59.000 toneladas diarias de excreta (gallinaza o pollinaza) producto de la deposición de 380 millones de pollos y 24 millones de ponedoras (TIEMPO, 1998) (UIS, UPME e Ideam, 2011). Santander es considerado el centro de la industria Avícola de Colombia, la producción de excreta de gallina es de aproximadamente 4800 toneladas/día en más de 1.000 granjas (UNAL y UPME, 2017). Aunque en el país ya se desarrollan proyectos de cogeneración de electricidad a partir del biogás que se obtiene de la excreta de la gallina, estos se aplican en una escala industrial y no se conocen procesos adaptados a pequeña y mediana escala. Es por ello que esta propuesta se fundamenta en el potencial de aprovechamiento de estos desechos de la industria avícola para estimar la posibilidad de uso en un proceso a escala pequeña en granjas del departamento de Santander.

Así mismo, es de resaltar que en el Grupo de Investigación en Ciencias Básica Aplicadas (GICBA) se han realizado proyectos de investigación relacionados con el aprovechamiento de residuos biomásicos del sector agrícola y esta propuesta contribuirá a seguir potenciando estas líneas de investigación del grupo. Adicionalmente, las Unidades Tecnológicas de Santander requiere, según lo establecido en sus lineamientos misionales, ejecutar proyectos de investigación que impacten positivamente en las dinámicas del departamento y la región; lo cual se

pretende con esta propuesta de investigación al estar enfocada en la industria avícola de Santander.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el potencial de la excreta de pollo producida en una granja avícola del municipio de Los Santos para la cogeneración de energía eléctrica y biogás para uso interno de la granja.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar las tecnologías comerciales de mayor potencial para la cogeneración de energía eléctrica y biogás a partir de la excreta de pollo a pequeña escala mediante una revisión bibliográfica actualizada.

Estimar el potencial de generación de energía eléctrica y biogás de la excreta de pollo recolectada de una granja avícola del municipio de Los Santos a partir de su caracterización fisicoquímica.

Realizar un análisis económico del potencial de implementación de un sistema de cogeneración de energía eléctrica y biogás para el uso interno de una granja avícola del municipio de Los Santos.

1.4. ESTADO DEL ARTE

De acuerdo con una búsqueda bibliográfica realizada en bases de datos indexadas, utilizando como palabras claves los términos gallinaza (excreta de gallina), cogeneración y biogás, se seleccionaron trabajos de investigación realizados en la últimos cinco (5) años en los cuales se ha estudiado el potencial energético de la

excreta de gallina para la generación de biogás y energía eléctrica. Los resultados mas relevantes se detallan a continuación.

Investigadores del Centro de Estudios de Energía y Procesos Industriales de la universidad de Santic Spíritus, en Cuba, realizaron un estudio del potencial energético de la Empresa Avícola de la provincia Santic Spíritus (SANTICAN), en el cual señalaron que, debido al avance de la tecnología, la gallinaza se ha revalorizado por su alto contenido energético. Mediante la ejecución de una caracterización fisicoquímica de la gallinaza y la determinación del potencial de biogás y la potencia eléctrica y térmica que se puede generar a partir de la misma, obtuvieron un contenido de solidos volátiles para aves de reemplazo y ponedora, el cual fue de 44.20 % y 43.09 %, respectivamente. Estos valores permitirán un buen desarrollo para la producción de biogás. Las concentraciones de $N-NH_4^+$ fueron de 254 y 422 g/kg , respectivamente. Durante la debida transformación de la gallinaza como sustrato para la producción de biogás se generó en SANTICAN un total de 6.656 MWh de energía eléctrica y 9 641 MWh de energía térmica al año. A partir de los datos obtenidos concluyeron que, con el potencial eléctrico de la gallinaza se pueden satisfacer partes de las demandas eléctricas y térmicas de cada Unidad Empresarial de Base (UEB), lo que representa un ahorro de más de 6.000 MWh en combustibles fósiles para el país y una disminución de los costos por la obtención de estos combustibles, lo cual confirma el potencial de este tipo de residuos para la cogeneración de energías. (Duharte Rodríguez, Odales Bernal, Álvarez Meneses, González Lòpez, & Barrera Cardoso, 2021)

Del mismo modo, investigadores de la Universidad de Birzeit (BZU), en los Territorios Palestinos, condujeron una investigación sobre la producción de biogás a partir de estiércol de aves utilizando un nuevo sistema solar asistido, en este estudio, se diseñó una digestión anaeróbica a pequeña escala con un volumen de

500L y se operó bajo el modo de alimentación continua; el estiércol de pollo se utilizó como sustrato. Para optimizar el proceso anaeróbico se realizó una alimentación aumentando la tasa de carga a diferentes tiempos de digestión. En este estudio, el biogás se utiliza principalmente para la calefacción de las explotaciones. Por lo tanto, el valor del biogás se basa en la cantidad de gas natural que el biogás sustituye para la calefacción. La cantidad total anual del biogás fue de $39,42 m^3$ según (Khoiyangbam, 2011) un metro cúbico de biogás con un 60% de metano equivale a 0,433 metros cúbicos de gas natural. Por lo tanto, el rendimiento neto del biogás sería de $17,09 m^3$ esta cantidad cubre lo necesario del gas natural con excedente de $16,39 m^3$ de biogás. El beneficio del monte de biogás excedente se calculó según el precio del biogás de la literatura, que es de \$1619 por metro cúbico. Los resultados energéticos mostraron que la cantidad de biogás se utilizó, produciendo suficiente calor para satisfacer las necesidades energéticas de la granja, y el biogás es de alta calidad, lo que permite que el entorno de la granja sea más limpio y posiblemente ayude a reducir los costes de mantenimiento de la planta. El sistema de biogás demostró ser económicamente viable para que los agricultores ahorren dinero en la fuente de energía para calentar su granja y biofertilizantes para utilizarlos en la agricultura para fines agrícolas, lo que hace que la inversión en biogás merezca más la pena para los agricultores (Rowayda, 2015)

Dentro del contexto colombiano, estudiantes de la facultad de ingeniería de la Universidad del Valle, en Santiago de Cali, realizaron un trabajo sobre la estimación del potencial de energía eléctrica a partir de una unidad de volumen de excreta de gallina derivado de fincas avícolas, este estudio fue diseñado para reducir el impacto ambiental provocado por la no utilización del 100 % de los subproductos generados y lograr amortiguar el desequilibrio energético de las regiones, esto por su elevada demanda de electricidad y gas. A través de estudios realizados para estimar la obtención de biogás y electricidad a partir de la gallinaza en los municipios del Valle

del Cauca con costes fijos brindados por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), se obtuvo como resultado que en el Valle del Cauca se desperdiciarían 589.337 MW/h de electricidad. Así mismo, se encontró que por el momento en el Valle del Cauca se están desperdiciando $64.120 m^3$ de biogás, lo que representa 80.149 MWh de electricidad, que podrían ser aprovechados sin mucha inversión. A su vez, se ampliará que, por hora, en Colombia se están desperdiciando $506.398,1 m^3$ de biogás, lo que representa 633 MWh de electricidad, que podrían utilizarse sin hacer mucha inversión. (Aguils, 2015).

Por otro lado, el departamento de Física y Ciencias Biológicas de la Universidad Federal Gashua, en Nigeria, realizó un estudio que se llevó a cabo para investigar la generación de biogás a partir de estiércol de aves de corral. El biogás es una mezcla de gases incoloros e inflamables que se obtiene mediante la digestión anaeróbica de materiales de desecho orgánico de origen animal. El biogás suele estar compuesto por metano (50-70%), dióxido de carbono (30-40%) y otros gases. Los digestores de plástico se etiquetaron como A, B y C. Cada digestor contenía volúmenes iguales de purines (750 g de estiércol, 20cm³ de agua) estos se sometieron a una digestión anaeróbica durante un periodo de retención de cuatro semanas y a mediciones semanales de gas. El biogás se recogió por el método de desplazamiento de agua. El digestor A se mantuvo a temperatura ambiente (250C) y el gas se recogió sobre el agua. El digestor B también se recogió sobre agua de cal a temperatura ambiente. El digestor B tuvo la mayor producción de gas (16,30 cm³). La producción de gas aumentó con el incremento del tiempo de retención. La semana 4 tuvo el mayor porcentaje de gas (63,75%) para el digestor B. Para el digestor A, la semana 3 tuvo el mayor rendimiento porcentual de gas (42,08%) respectivamente. El contenido del digestor C, expuesto al sol, se secó y no se produjo gas. En los digestores A y B el rendimiento de gas aumentó a medida que aumentaba el tiempo de retención. Los resultados del estudio muestran que el

estiércol de las aves de corral podría utilizarse como sustrato adecuado para la producción de biogás de biogás. Si esta se lleva a cabo a escala comercial, no sólo proporcionaría una fuente alternativa de energía, sino que también sería un medio de eliminación de residuos para Nigeria (Ngaram, y otros, 2018).

En el contexto regional, la Universidad de Santander (UDES) realizó un estudio sobre el aprovechamiento energético para le generación de biogás en granja ganadero-avícola”, cuya finalidad fue desarrollar un sistema que permitiera la utilización del biogás generado en una granja del departamento de Santander y exponerlo como un modelo energéticamente sustentable de poco valor, que ayudara a reducir los impactos ambientales. Primero se seleccionó el sitio de una finca santandereana llamada La Fortuna, en la que se percibía la gran contaminación ambiental generada por el estiércol bovino y aviar. Además, presentaba deficiencias energéticas para abastecer la demanda de sus actividades productivas. Por lo tanto, se realizó la caracterización de los desperdicios sólidos de ganado y aves de la finca (La Fortuna) para el diseño del sistema de aprovechamiento energético del biogás y la especificación de los requerimientos energéticos y como resultado del análisis del laboratorio, se concluyó la composición fisicoquímica y microbiológica de los desechos orgánicos de ganado y aves generados en la finca. El proyecto de los biodigestores de la granja se realizó con la excreta generada por 80 crías semiestabuladas. El valor de la implementación de los biodigestores fue de \$14.871.000 con valores de operación de \$1.506.300 mensuales. La granja obtuvo un ahorro de \$1.000.000 cada 45 días en el procedimiento de incubación de pollos y \$142.857 mensuales por el gasto de biogás en quehaceres domésticos (Mantilla Suárez, 2017).

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO TEÓRICO

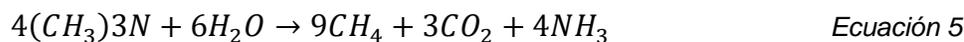
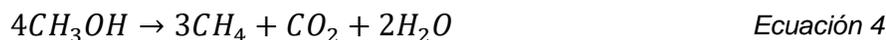
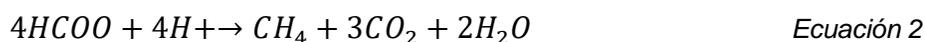
2.1.1. DIGESTIÓN ANAERÓBICA

Básicamente, la digestión anaeróbica se caracteriza por una reacción en la que el biogás se produce a partir de materiales biodegradables en condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno). La composición del biogás producido depende del sustrato utilizado y de las condiciones de digestión. El biogás se constituye básicamente de metano y dióxido de carbono, con cantidades menores de otros gases, incluidos nitrógeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, amoníaco y vapor de agua.

La evolución del biogás se produce mediante la actividad de varios microorganismos en tres pasos; a saber: hidrólisis, acidogénesis (también llamada fermentación) y metanogénesis. (Metclaf, Eddy, & Tchobanoglous, 2004), (Najafpour G. D., 2015); aunque, algunas referencias describen la progresión de la digestión anaeróbica en cuatro pasos que incluyen hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. (Vavilin, Fernandez, Palatsi, & Flotats, 2008). Se sabe que un consorcio microbiano compuesto por diferentes especies de organismos hidrolíticos, acidógenos y metanógenos es responsable de la producción de biogás. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra un gráfico de los pasos comprendidos en la digestión anaeróbica.

En la etapa de hidrólisis, los materiales complejos como lípidos, polisacáridos, proteínas y ácidos nucleicos se convierten en compuestos solubles que incluyen ácidos grasos, monosacáridos, aminoácidos, purinas y pirimidinas. En el siguiente paso (fermentación), se producen por acidogénesis acetato, hidrógeno, dióxido de carbono, formiato, metanol, metilaminas, propionato, butirato, etc. En la etapa final,

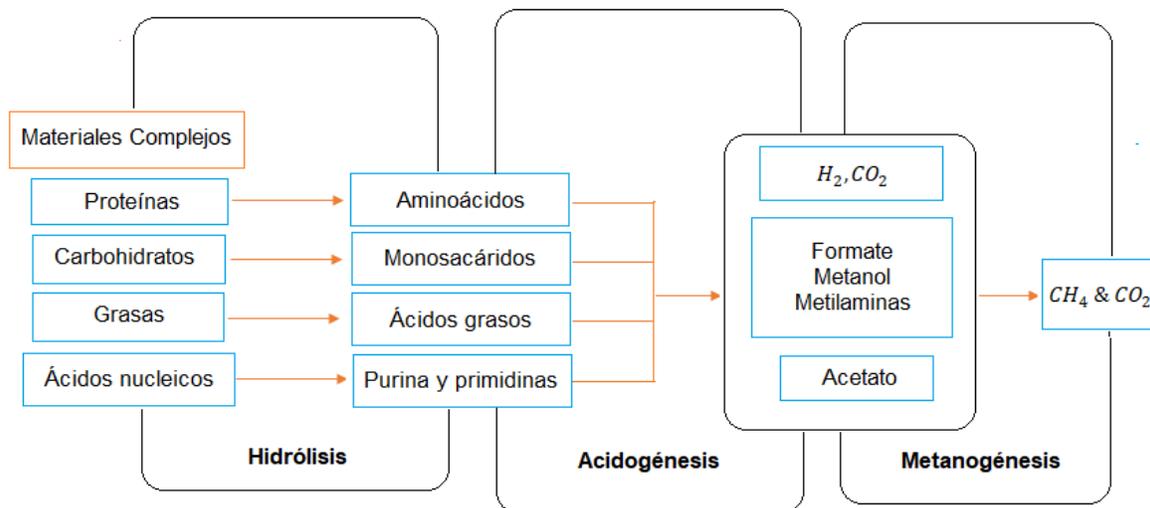
el metano es producido por dos grupos de metanógenos; es decir, acetoclásticos (consumidor de acetato) y metanógenos que utilizan hidrógeno (consumidor de H_2/CO_2). Los metanógenos acetoclásticos dividen el acetato en metano y dióxido de carbono; mientras que, los metanógenos que utilizan hidrógeno son responsables de la producción de metano utilizando CO_2 e hidrógeno como aceptor y donador de electrones, respectivamente. La síntesis de metano a partir de diferentes precursores se resume en las Ecuaciones 1 a la 6 (Metclaf, Eddy, & Tchobanoglous, 2004), (Madigan, Martinko, & Parker, 2003)



Los organismos responsables de la hidrólisis y acidogénesis son bacterias anaerobias facultativas y obligadas. Se ha reportado del aislamiento de varios géneros bacterianos, incluidos Clostridium, Peptococcus, Bifidobacterium, Desulphovibrio, Corynebacterium, Lactobacillus, Actinomyces, Staphylococcus y Escherichia coli de digestores anaeróbicos. (Sun, Pope, Eijnsink, & Schnürer, 2015), (Metclaf, Eddy, & Tchobanoglous, 2004), (Tsapekos, Kougias, Treu, Campanaro, & Angelidaki, 2017). Como se mencionó, la producción de metano es realizada por dos grupos de metanógenos; la composición de la comunidad de metanógenos es similar a la del consorcio microbiano del estómago de los rumiantes. Methanobacterium, Methanobacillus, Methanococcus, Methanotherix y Methanosarcina son los principales microorganismos que sirven para la producción de metano en la digestión anaeróbica. (Metclaf, Eddy, & Tchobanoglous, 2004),

(Stronach, Rudd, & Lester, 1986). Todos los metanógenos son arqueas y anaerobios estrictamente obligados que requieren potenciales redox por debajo de -300 mV para el crecimiento. (Miyamoto & (Ed), 1997). Son muy sensibles al oxígeno y crecen muy bien en presencia de H₂ y CO₂. Methanosarcina y Methanothrix se encuentran entre el número limitado de microorganismos que pueden convertir el acetato en metano y dióxido de carbono; los otros son hidrógeno que utiliza metanógenos. (Sun, Pope, Eijsink, & Schnürer, 2015), (Metclaf, Eddy, & Tchobanoglous, 2004), (Stronach, Rudd, & Lester, 1986)

Figura 1. Esquema del proceso de digestión anaeróbica.



2.2. MARCO LEGAL

A continuación, en la Tabla 1 se detalla el marco legal aplicable al proyecto.

Tabla 1. Marco legal aplicable al proyecto.

NORMA	NOMBRE	CONTENIDO	APLICACIÓN AL PROYECTO
Resolución 0957 de 2008	Por la cual se norman las medidas de Bioseguridad en las Granjas Avícolas comerciales y granjas avícolas de autoconsumo en el Territorio Nacional.	Establece que con la transformación de la gallinaza por medio de los diferentes tratamientos que se describen a continuación es una alternativa para darle valor agregado a un residuo orgánico abundante y mitigar el impacto ambiental negativo que este puede ocasionar cuando no se procesa, debido a una mala utilización o disposición del mismo.	Es importante aplicar la norma al proyecto ya que se debe tener claras las medidas apropiadas para el buen manejo de los residuos en las granjas Avícolas y así mitigar el impacto ambiental que estos producen debido a su mal manejo y disposición.
Resolución 00150 de 2003	Por la cual se acoge el Reglamento Técnico de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelos para Colombia.	Tiene como objetivo alcanzar un mayor grado de seguridad alimentaria, mediante el incremento de la producción de las normas básicas y de los niveles de productividad, la sustitución de las importaciones y la variación y aumento de las exportaciones; y que para ello se requiere, entre otros factores, la utilización eficaz de fertilizantes y acondicionadores de suelos, disminuyendo los riesgos para la salud humana.	Resulta útil ya que gracias a este reglamento se tienen definidas las pautas apropiadas para garantizar la protección de los suelos aplicando los diferentes fertilizantes y acondicionadores necesarios para minimizar riesgos en la sanidad agropecuaria, salud humana y el medio ambiente.

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO,
MONOGRAFÍA, EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 1.0

**Resolución
Creg-085,
Creg-086 de
1996**

Por la cual se indica las normas aplicables a la generación de energía con plantas menores de 20MW, así mismo establece las reglas para comercializar la energía generada por plantas menores, que no se encuentren registradas en el Mercado Mayorista de electricidad.

Es aplicable al proyecto ya que a través del reglamento se indican las normas para fomentar la Cogeneración eficaz, en especial por sus beneficios sobre el medio ambiente.

**Ley 1715 de
2014**

Su objetivo es fomentar el desarrollo y la utilización de las Fuentes de Energía No Convencionales, principalmente las de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración en el mercado eléctrico, su aportación en las Zonas No Interconectadas y en otros consumos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del suministro energético.

Por el que se regula la integración de las energías renovables no convencionales en el Sistema Energético Nacional.

Es conveniente ya que gracias a esta normativa se busca la integración de fuentes no convencionales para ayudar a reducir el impacto ambiental.

**Resolución
Creg-005 de
2010**

Por la cual se determinan los requisitos y condiciones técnicas que deben cumplir los

Tiene la función de expedir la regulación específica para la cogeneración de electricidad y el uso

Es indispensable en el proyecto ya que determina los requisitos y condiciones técnicas

<p>procesos de cogeneración y se regula esta actividad.</p>	<p>de gas combustible por parte de los consumidores y de establecer criterios para la fijación de compromisos de ventas garantizadas de energía.</p>	<p>eficiente de energía y que deben cumplir los procesos de producción combinada de energía eléctrica y energía térmica para que sean considerados un proceso de cogeneración.</p>
---	--	--

2.3. MARCO AMBIENTAL

Para la ejecución del proyecto, los aspectos ambientales que se tuvieron en cuenta están relacionados con el protocolo de seguridad química de los laboratorios de investigación de la UIS-sede Guatiguará, en donde se llevaron a cabo las pruebas de caracterización fisicoquímica de la excreta de gallina. Dentro de este protocolo se establecen pautas como el reglamento parcial de la prevención y el manejo de los residuos sólidos o desechos peligrosos. Adicionalmente se encuentra la conformación de los contenedores (primarios y secundarios) en los que se lleva a cabo la disposición final de los compuestos contaminantes. Por último, se establece la debida disposición final de los residuos peligrosos y no peligrosos.

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

La presente investigación es de tipo descriptiva correlacional, a través de la cual se buscó asociar las características fisicoquímica de una muestra de excreta de gallina y su capacidad teórica para la producción de metano con el diseño de un sistema de cogeneración de energía eléctrica eficiente para granjas pequeñas. Esta recolección y análisis de datos conlleva a un enfoque de tipo cuantitativo. El método que se aplicó fue de tipo analítico-sintético, ya que se estudiaron las propiedades fisicoquímicas de la excreta de gallinas para relacionarlas con la capacidad de generación de metano y su influencia en la viabilidad de operación del sistema de cogeneración.

4. RESULTADOS

4.1. Tecnologías para obtención de biogás a partir de excreta de pollos

Para la obtención de biogás a partir de la excreta de pollos como fuente principal de biomasa es necesaria para la producción en un biorreactor, que es un depósito cerrado lleno de residuos de pollinaza sobrante, en el que se lleva a cabo la fermentación en un proceso anaeróbico (sin oxígeno), que permite descomponer la biomasa para luego generar biogás. La digestión anaeróbica, es una de las tecnologías de conversión de residuos en energía que convierte los residuos orgánicos en combustible gaseoso útil (biogás). En este proceso se produce metano, en presencia de bacterias metanogénicas (bacterias capaces de descomponer materia orgánica y así aportar a la formación de metano) dejando como subproducto biogás. (Bernal Patiño, 2018). La actividad de los metanógenos depende de varios parámetros, como el pH, la temperatura, la tasa de carga orgánica, el tipo de biodigestor, además, estos parámetros influyen en la producción de biogás en términos de rendimiento y composición. A partir de esto se establece un proceso que divide la descomposición anaeróbica de la materia orgánica formado por cuatro etapas:

4.1.1. Hidrólisis

Inicia la digestión. En este proceso se convierten las macromoléculas orgánicas en sus partes más pequeñas o solubles. Aquí, las bacterias hidrolíticas pueden secretar enzimas extracelulares que pueden transformar carbohidratos, lípidos y proteínas en azúcares, ácidos grasos de cadena larga y aminoácidos.

4.1.2. Acidogénesis

Al aspirar los productos de hidrólisis mediante de la membrana celular, los microorganismos acidogénicos pueden elaborar ácidos grasos moderadamente

volátiles y otros productos, que luego se descomponen en ácidos orgánicos de cadena corta como; aceite, propano, ácido acético, alcohol, hidrógeno y dióxido de carbono, utilizados directamente por bacterias metanogénicas. La concentración de hidrógeno producido como intermediario en este paso afecta el tipo de producto final producido durante la fermentación. Por ejemplo, si la presión parcial del hidrógeno fuera demasiado alta, disminuiría la cantidad de compuestos reducidos. En general, durante esta fase, los azúcares simples, los ácidos grasos y los aminoácidos se convierten en ácidos orgánicos y alcoholes. (Kayode Feyisetan Adekunle, 2015)

4.1.3. Metanogénesis

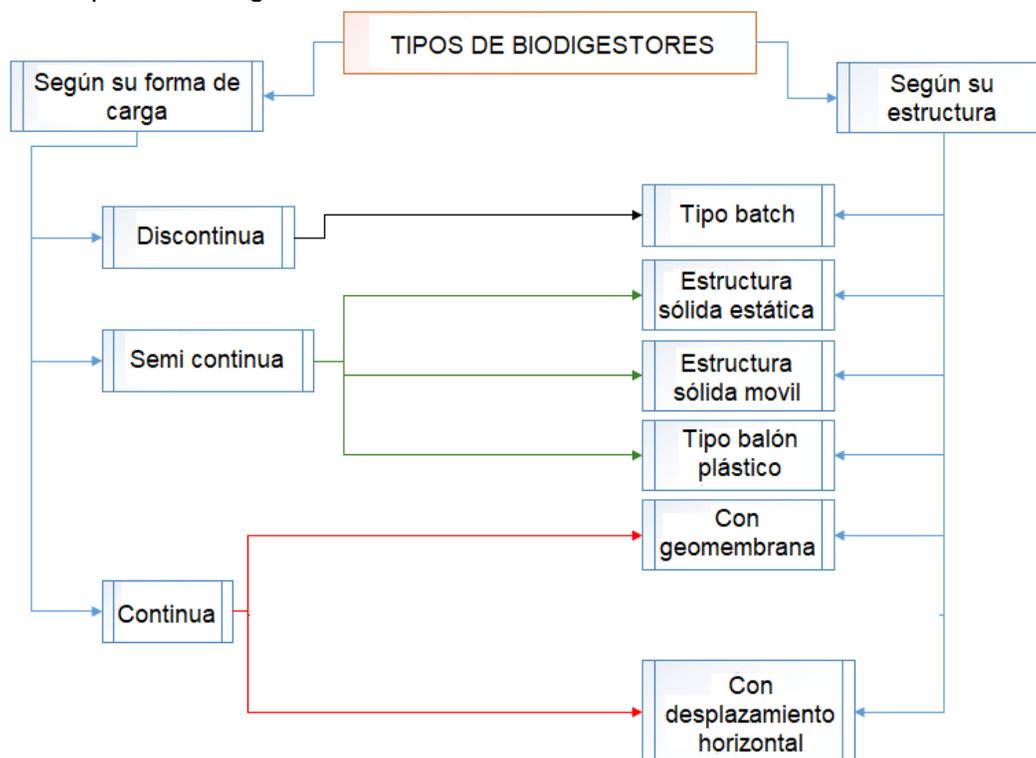
Fase en la que culmina el proceso de digestión anaeróbica, en la que la degradación de los ácidos orgánicos y la formación de biogás pueden llevarse a cabo principalmente por bacterias metanogénicas como acetotróficas y hidrogenotróficas. Los microorganismos metanogénicos acetótrofos degradan el acetato en metano y dióxido de carbono, los metanógenos hidrogenotróficos utilizan el dióxido de carbono y el hidrógeno para producir metano. El metano también puede formarse a partir del etanol mediante la oxidación del sustrato. (Jay N. Meegoda, 2018)

4.1.4. Tipos de biorreactores

Para que estas etapas se lleven a cabo, deben hacerse en una estructura diseñada para tal fin. Dicha estructura es llamada biodigestor; estructura en la que ocurre la digestión de diferentes residuos orgánicos para la producción de un biogás comburente y produce un poderoso fertilizante orgánico conocido como biól el cual aporta grandes cantidades de N (nitrogeno), P (fósforo), K (potasio) y en menor proporción Ca (calcio), Fe(hierro), Mn (manganeso) junto con algunos aminoácidos y metales como el Cu (cobre) y Zn (zinc).

En el desarrollo de un biodigestor se analiza fundamentalmente en función de los parámetros biológicos, las características técnicas, la fiabilidad, los factores operativos y el rendimiento general; depende de varios parámetros como los materiales y su disponibilidad, las condiciones climáticas de la ubicación de la planta y los factores geográficos e hidrológicos. Este dispositivo suele ser cilíndrico o cubico, Se puede construir bajo tierra o sobre el suelo. (Vega Martinez, 2020). El factor más importante para mantener la calidad del biogás es mantener la composición de metano por encima del 50%. Por ello, los digestores de biogás se diseñan en función de los mejores entornos para la existencia de la comunidad microbiana metanogénica. Existen diferentes tipos de biodigestores, dependiendo de la cantidad de gas requerida, el terreno y el presupuesto. Difieren principalmente en la cantidad de estiércol disponible, el tiempo de retención hidráulico, y el área disponible para su construcción. (Garzón Cuji, 2011)

Figura 2. Tipos de biodigestores.

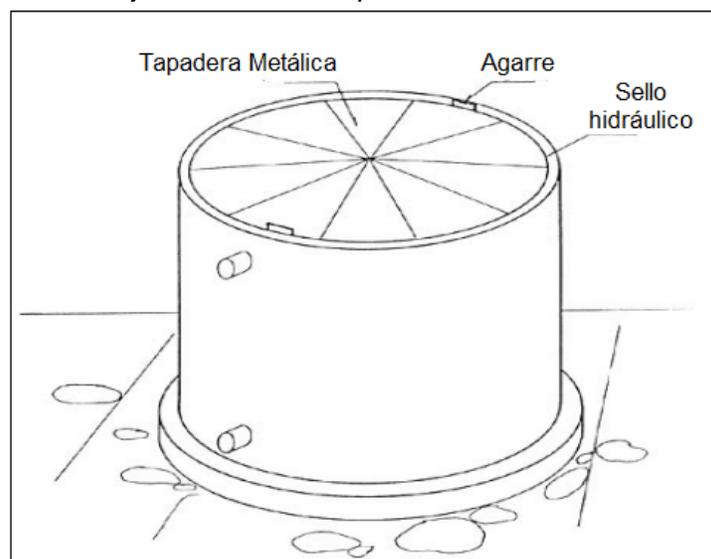


Como se observa en la figura los biodigestores se pueden clasificar según su forma de carga y estructura. Con el objetivo de determinar la mejor opción sobre la cual fundamentar un diseño aplicable a la finca de los Santos, se hizo una búsqueda y recopilación de información disponible sobre los diferentes tipos de biodigestores más comunes. Para esto, se tomó el Manual de Biogás presentado por la FAO (2011), puesto que se centra en los biodigestores aplicables al sector rural:

4.1.4.1 Biodigestor de flujo discontinuo

Estos son contenedores sellados que, cuando se cargan, no permiten una mayor extracción o adición de sustrato hasta que se haya completado la biodegradación y la producción de biogás. Después de un cierto tiempo de fermentación, cuando el contenido de materia prima disminuye y el rendimiento de biogás cae a un nivel bajo, los digestores se vacían completamente y se vuelven a llenar, iniciando un nuevo proceso de fermentación que requiere una mayor cantidad de materia prima. Requiere menos agua que los sistemas continuos. También conocido como biodigestor *batch* (Practical Action, 2005).

Figura 3. Biodigestor de flujo discontinuo o tipo batch



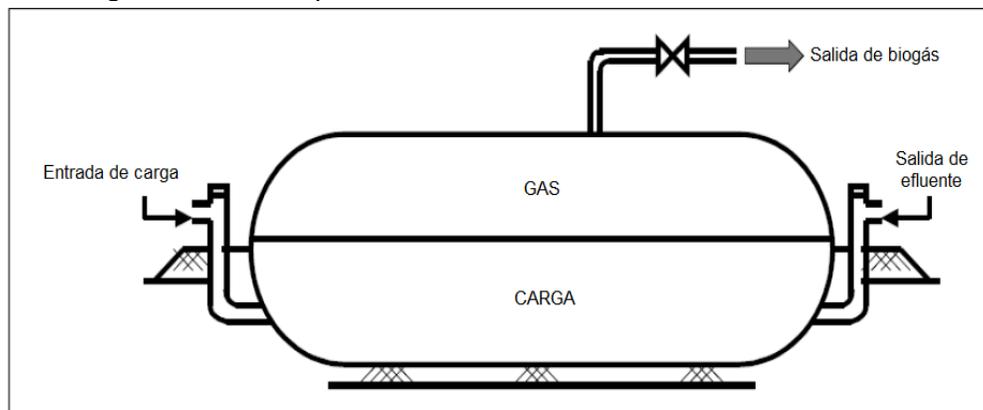
4.1.4.2 Biodigestor de flujo semi continuo

Se carga diariamente con una cantidad menor de biomasa que un biorreactor continuo. Se deposita en la cámara de alimentación y también se debe tomar un volumen igual de agua residual líquida de la cámara de descarga para mantener el volumen constante. Por regla general, producen biogás casi continuamente al proporcionar continuamente nuevos nutrientes a las comunidades microbianas. Son muy utilizados en la agricultura y deben cargarse y descargarse diariamente en cantidades iguales en ambos procesos. Los proyectos que se enmarcan en este tipo de biorreactor son:

4.1.4.2.1 Biodigestor de balón plástico o modelo chino

Se originó en china, estos biodigestores son tanques cilíndricos con cúpulas y pisos, están contruidos completamente bajo tierra, pero el costo es relativamente alto de construir el modelo, significa que aún no se ha popularizado en América Latina como otras estructuras. Al inicio del proceso, la cámara de digestión se llena con residuos orgánicos mezclados con lodos activados de otro digestor a través de una tapa superior removible. Una vez cargado, se carga diariamente con los desechos del vertedero disponibles a través de una tubería de carga al centro del digestor.

Figura 4. Biodigestor de balón plástico

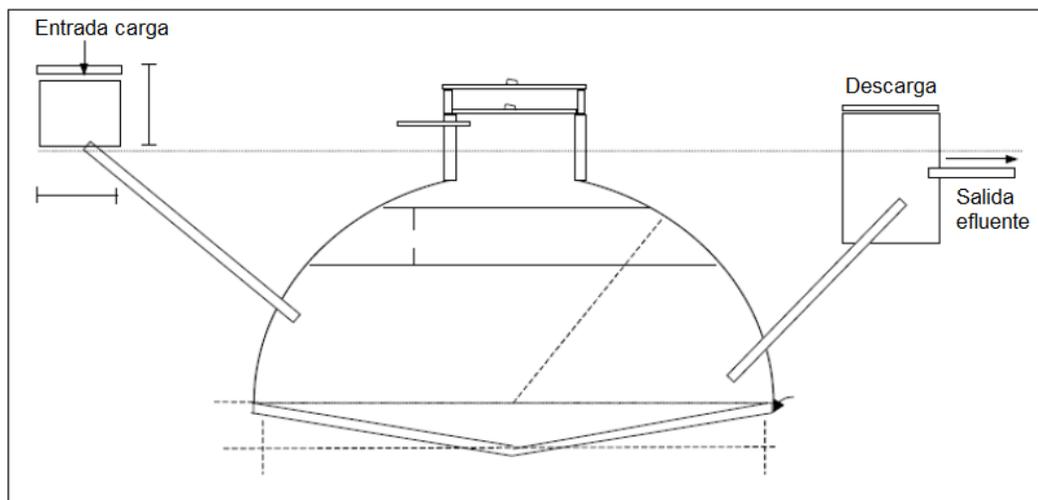


Nota. Adaptada de (Genes J. L., 2015)

4.1.4.2.2 *Biodigestor de estructura sólida estática*

Se compone de una unidad que consiste en el digestor, la cúpula de almacenamiento de gas y la cámara de desplazamiento de los residuos, construidos bajo tierra para evitar las fluctuaciones de temperatura y para soportar la presión del gas que se ejerce sobre la cúpula. Se construye con ladrillos, áridos y mortero de cemento y arena. El reactor tiene un volumen constante y cuando se produce gas, éste desplaza los residuos bajo su presión a la cámara de expansión. El biodigestor se llena a través de la tubería de entrada hasta que el nivel alcance el nivel inferior de la cámara de expansión. (Asheal Mutungwazi, 2017)

Figura 5. Biodigestor de estructura sólida estática

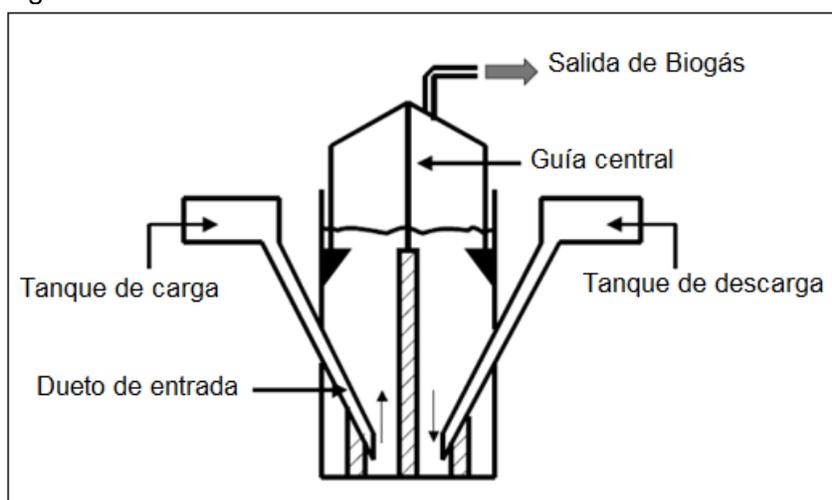


4.1.4.2.3 *Biodigestor de estructura sólida móvil*

También llamado domo flotante, el diseño incluye un domo invertido móvil colocado en el digestor. En el digestor se coloca un domo de acero invertido que actúa como tanque de almacenamiento que puede moverse hacia arriba y hacia abajo en función de la cantidad de gas acumulado en la parte superior del digestor. El peso de este domo invertido aplica la presión necesaria para que el gas circule a través de la tubería para su uso. Este biorreactor se alimenta de forma semicontinua cada 12 o 24 horas,

se alimentan por gravedad una vez al día con un volumen mixto según la duración de fermentación o maduración y elaboran más o menos biogás diario si se sostienen las condiciones de operación. El tamaño medio de este tipo de biodigestores es de unos $1,2m^3$, para granjas de tamaño pequeño-medio, el tamaño varía entre 5 y $15m^3$. (Karthik Rajendran, 2012)

Figura 6. Biodigestor de estructura sólida móvil



4.1.4.3 Biodigestor de flujo continuo

Se carga con biomasa diariamente donde la carga debe mantenerse uniforme, la alimentación que ingresa al digester es un proceso ininterrumpido, el agua residual que descarga es equivalente a la alimentación o material cargado. Se utilizan para procesar grandes cantidades de biomasa. Ampliamente utilizado para el tratamiento de aguas residuales, generalmente de grado industrial grande. Pueden ser: (MINENERGIA, PNUD, FAO, GEF, 2011) Pueden ser:

4.1.4.3.1 Biodigestor con geo-membrana:

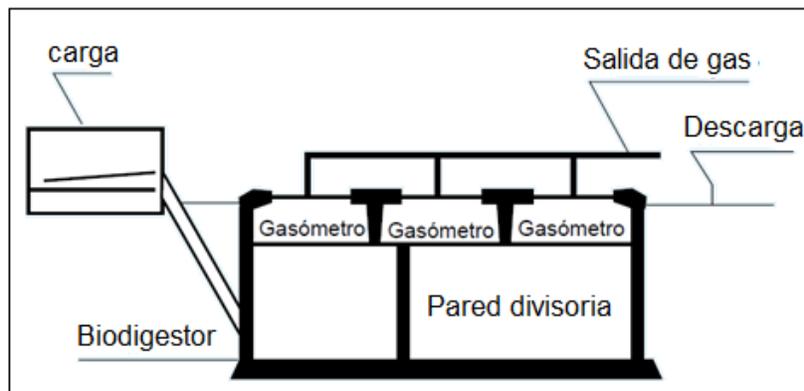
Este tipo de biorreactor tiene el mismo mecanismo de funcionamiento que el biorreactor de balón plástico mencionado anteriormente, pero se diferencia en que

su aplicación se concentra en muchas instalaciones industriales o lugares donde se procesan residuos de biomasa considerable. La biomasa utilizada en este tipo de biorreactores proviene mayoritariamente de la industria agrícola, principalmente de granjas porcinas y de gallinas ponedoras. (Politex S.A, 2019).

4.1.4.3.2 *Biodigestor con desplazamiento horizontal*

Se recomienda utilizar este tipo de digestor cuando se necesite trabajar con un volumen superior a 15 m³, por lo que se hace muy difícil excavar un pozo vertical. Su estructura debe ser horizontal ya que debe estar enterrada en el suelo debido a la gran cantidad de biomasa que se puede cargar. Este biorreactor se utiliza donde se genera una cantidad importante de residuos a diario como gallineros ponedores, granjas de ponedoras de engorde, granjas porcinas, etc. (Genes A. , 2015)

Figura 7. Biodigestor con desplazamiento horizontal



4.2. Tecnologías para generación de electricidad a partir de biogás

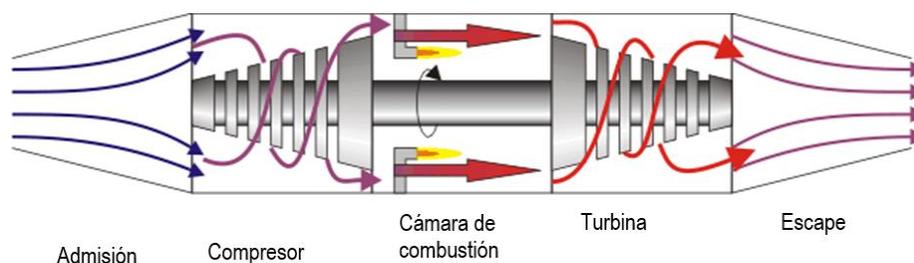
4.2.1. Turbinas de gas

Con respecto a la tecnología de turbinas de gas de ciclo simple, el principal impulsor para mejorar el rendimiento del motor ha sido el aumento de las condiciones del proceso (temperatura y presión) a través de los avances en materiales y métodos

de enfriamiento. El desarrollo continuo y la introducción a corto plazo de turbinas de gas avanzadas mejorarán la eficiencia de la operación de ciclo simple en más del 40%. La combinación del periodo de turbina de gas (ciclo Brayton) con un ciclo de fondo de temperatura media o baja (como el ciclo de Rankine), conocido como ciclo combinado convencional, es la forma más efectiva de aumentar la eficiencia térmica de un periodo de turbina de gas. Los componentes básicos de una planta con turbina de gas son: un compresor, una cámara de combustión y una turbina.

El aire que ingresa al compresor se comprime a una presión más alta. No se agrega calor, sin embargo, la compresión eleva la temperatura del aire para que el aire en la descarga del compresor esté a mayor temperatura y presión. Al salir del compresor, el aire ingresa a la cámara de combustión, donde se inyecta el combustible y se produce la combustión. El proceso de combustión ocurre esencialmente a presión constante. (Elsiver, 2005)

Figura 8. Esquema de funcionamiento de una turbina de gas

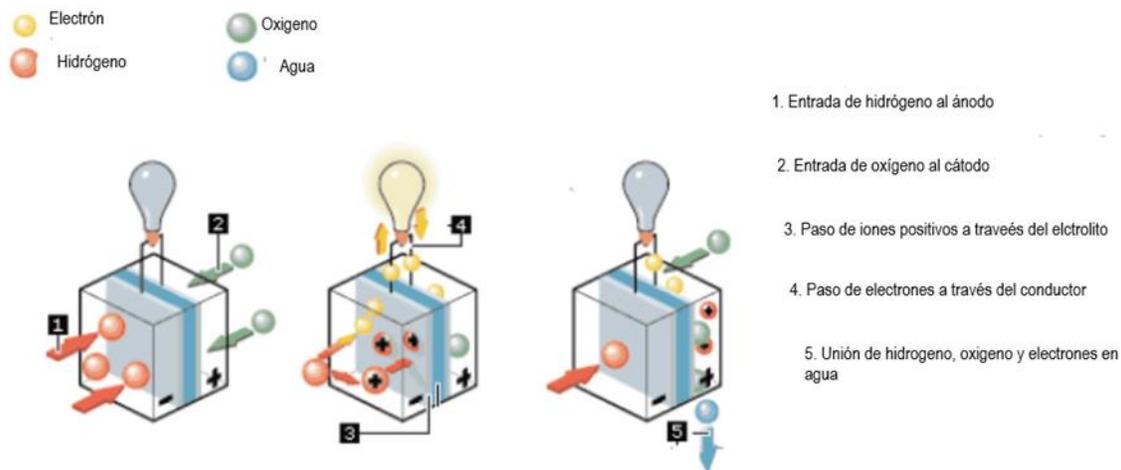


4.2.2. Celdas de combustibles

Una batería de combustión, también conocida como batería de hidrógeno, es un dispositivo capaz de convertir inmediatamente la energía química generada entre el combustible y el oxidante en electricidad con la liberación de agua y calor. La celda consta de dos electrodos, ánodo y cátodo, apartados por un electrolito sólido o líquido. El H_2 ingresa al ánodo, donde el catalizador permite su oxidación, el

electrolito transfiere solo iones positivos, no electrones libres del ánodo al cátodo; por lo que el electrolito no puede ser un conductor. Los electrodos están conectados por un cable, a través de él los electrones se mueven y pasan a través de la carga, finalmente, el hidrógeno, el oxígeno y los electrones están conectados en el cátodo, por lo tanto, el agua y el calor al final se liberan.

Figura 9. Esquema de funcionamiento de una celda de combustible de hidrógeno.



La pila de combustible es actualmente una tecnología muy prometedora para generar energía y cogeneración en función de biogás debido a su bajo impacto ambiental, menor consumo y alta eficiencia.

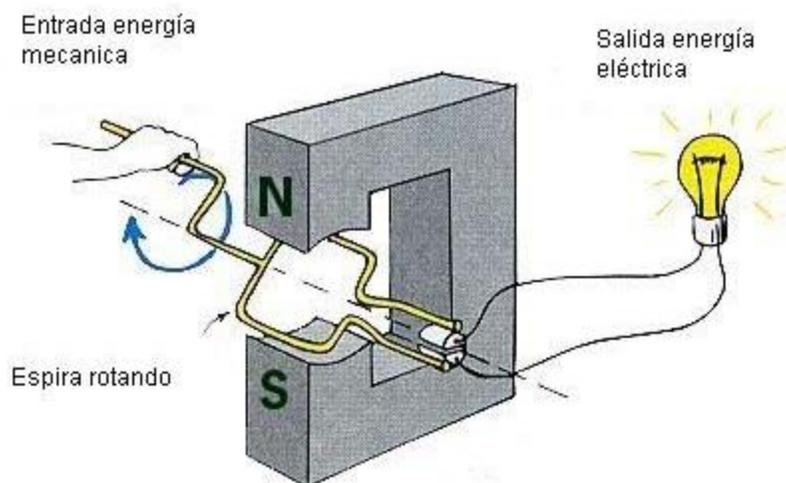
Este tipo de producción de energía tiene la desventaja de que en algunos casos se ignora, requiere biogás con una contaminación moderada a alta, requiere una gran inversión para producir biogás y requiere tener tecnología más avanzada y bodegas de alto costo. Además, la obtención de materiales para fabricar pilas de combustible es muy cara debido a los requerimientos tecnológicos, de lo que se puede concluir que no es un sistema económicamente competitivo frente a las turbinas de gas o los motores de combustión interna que generan electricidad a partir de biogás.

4.2.3. *Generador eléctrico*

El generador eléctrico es una máquina que transforma la energía mecánica en energía eléctrica según el principio de conservación de la energía, la ley de Faraday y fuerzas externas como agua, aire, gas, fuerzas de procesos químicos, etc.

El generador tiene dos componentes desde el punto de vista mecánico: el estator, es una armadura de metal constante, diferentes factores integrados, como bobina, carcasa, núcleo, sistema de conexión estrella, caja de sujeción y una que la hélice consiste en un dispositivo móvil que gira dentro del estator, que contiene una potencia electromagnética que consiste en bobinas instaladas en el núcleo de hierro, proporcionado por una pequeña corriente y para completar la operación del generador, la presencia del norte y el polo es necesaria en el sur, creando un campo eléctrico, que debería ser cortado en paralelo con las bobinas que crean una bobina generadora y, por lo tanto, se creó el voltaje y, por lo tanto, se creará la corriente. El dibujo muestra el diagrama principal del proceso de producción de energía. (Ferremax, 2021)

Figura 10. Esquema de funcionamiento de un generador eléctrico



Existen una gran variedad de generadores eléctricos según sus características y prestaciones, sin embargo, normalmente se dividen de acuerdo con el tipo de corriente que producen:

4.2.3.1 Alternadores

Son generadores que generan corriente alterna. En tales casos, el elemento de inducción es el rotor y el elemento de armadura es el estator. Este tipo de generadores se utilizan en centrales eléctricas.

4.2.3.2 Dinamos

Estos generan corriente continua y su componente inductor es el estator y el inducido el rotor, un claro ejemplo de este tipo de generador eléctrico son las luces de las bicicletas que operan gracias a la fuerza del pedaleo.

4.3. Estimación del potencial energético de la excreta de pollo

A partir del análisis fisicoquímico de una muestra de excreta de gallina recolectada de una granja avícola en el municipio de Los Santos se realizó una estimación teórica del potencial energético para la producción de biogás a través de un proceso de digestión anaeróbica.

En la Tabla 2 se detallan las principales características fisicoquímicas de la excreta recolectada. Dichos parámetros son similares a lo observados en la literatura. Es de destacar que la relación C/N es 15.54, ligeramente menor al rango recomendado, que va desde 20 a 30, en el cual la digestión anaeróbica se lleva a cabo de forma eficiente. Dicha baja relación se debe a una alta cantidad de nitrógeno en la pollinaza, lo cual podría generar un aumento de nitrógeno durante el proceso, que se traduce en una acumulación de amoníaco dentro del digester, generando un

aumento del pH y unas condiciones no deseadas para que se desarrollen las bacterias metanogénicas que promueven la descomposición de la pollinaza. Por ello, se recomienda realizar mezclas de esta pollinaza con residuos lignocelulósicos de relación C/N más alta para ajustar la proporción de carbono a nitrógeno. No obstante, para el presente estudio se asumirá que el biorreactor estará en operación solo con los residuos de pollinaza estudiados.

Tabla 2. Composición fisicoquímica de la pollinaza recolectada

Característica	Valor
pH	7.45
Humedad (%)	19.20
Sólidos totales (%)	82.10
Sólidos volátiles (%)	56.30
Cenizas (%)	13.50
Materia orgánica (%)	85.70
Carbono orgánico (%)	48.50
Nitrógeno (%)	3.12
Relación C/N	15.54
Fósforo (%)	3.80
Potasio (K ₂ O %)	1.89

Para estimar el potencial de generación de biogás se tomó como punto de partida un galpón estándar de una granja avícola en el municipio de Los Santos, cuyas dimensiones promedio son de 25 m de largo por 15 m de ancho. En esta área se tiene una capacidad para 2.500 pollos de engorde, cuyo ciclo de crecimiento tiene una duración promedio de 40 días (Perez Villa & Villegas calle, 2009) y el peso vivo se estima en 1.6 kg.

De acuerdo con (Federación Nacional De Avicultores de Colombia (FENAVI), 2019), cada pollo de engorde genera 3.2 kg de estiércol en un ciclo completo de 40 días. Esto significa que, para 2.500 pollos se generan 8.000 kg de excreta en un ciclo completo, o en promedio, 200 kg de pollinaza al día. A partir de la literatura, en donde se utiliza un índice teórico para determinar el potencial de generación de biogás de

la pollinaza, y teniendo en cuenta principalmente el contenido de sólidos volátiles obtenido, el cual permite cuantificar la cantidad de materia orgánica disponible para que los microorganismos transformen en biogás, para esta cantidad de pollinaza establecida se puede estimar un potencial de generación de biogás de 11.2 m³/día.

4.3.1. Proporción pollinaza/agua

Para asegurar que esto para que la viscosidad y, por tanto, la fluidez de la mezcla que ingresa al reactor sea la adecuada para una sencilla operación, se seleccionó una proporción pollinaza/agua de 1/3, equivalente a 3 partes de agua por cada kilogramos de pollinaza que ingrese al biorreactor, la cual ha sido utilizada previamente en otros trabajos de investigación, (Perez Villa & Villegas calle, 2009). Para una producción de 200 kg de pollinaza al día se estima que la cantidad de agua requerida será de 600 litros.

4.3.2. Temperatura ambiente

La velocidad a la cual ocurre la fermentación dentro del biorreactor depende de la temperatura ambiente. Para el caso del municipio de Los Santos de acuerdo a los datos obtenidos mediante un promedio anual, la temperatura generalmente oscila entre los 19°C a 26°C (Weather Spark, 2022). Por ello, se estima que el tiempo de retención de la pollinaza se encuentra entre 25 a 35 días (Perez Villa & Villegas calle, 2009).

4.3.3. Dimensiones y capacidad del Biodigestor

Teniendo en cuenta un tiempo de fermentación de 35 días y un volumen diario de 800 litros de mezcla de pollinaza/agua, se estima que el volumen necesario del biodigestor es de 28.000 litros o 28 m³.

4.3.4. Aprovechamiento del biogás para suplir al demanda energética

A continuación, se detalla el balance energético para estimar la capacidad de la pollinaza de suplir la energía consumida por un galpón de pollos de engorde en un ciclo completo.

4.3.4.1 Consumo de energía de un galpón

El consumo de energía para la producción de pollos de engorde se basa en dos fuentes de alimentación: gas propano y electricidad. El uso de cada uno de ellos depende del estado de crecimiento en el que se encuentre el ave y de la temperatura que se requiera dentro del galpón en función de la edad.

De acuerdo con los datos encontrados en la literatura, para el proceso de engorde de 250 pollos, de peso vivo promedio 1.6 kg, se requieren 0.00528 m³/h de gas propano y 7.563 kWh de electricidad. Teniendo en cuenta una población de 2.500 aves, se estima el siguiente consumo:

$$\text{Gas propano por ciclo} = 0.00528 * 24 * 10 * 45 = 57.024 \text{ m}^3/\text{ciclo}$$

$$\text{Electricidad por ciclo} = 0.563 * 24 * 10 * 45 = 6.080 \text{ kW}/\text{ciclo}$$

4.3.4.2 Capacidad del biogás

Hay que tener en cuenta que el poder calorífico del gas propano es mayor respecto al poder calorífico del biogás (como referencia se puede asumir que 300 m³ de biogás equivalen a 90 m³ de gas propano); es decir, para suplir la demanda de 57.024 m³ de propano se requieren 190.08 m³ de biogás.

Dadas las características de la pollinaza estudiada, se puede obtener una generación de biogás de 11.2 m³/día, es decir, 504.0 m³ de biogás por cada ciclo de crecimiento de las aves en el galpón. Con ello, se comprueba que el potencial de producción de biogás que presenta la excreta de pollo permite suplir la demanda

de propano de un ciclo completo de aves, dejando como exceso 314.0 m³ de biogás, los cuales podrían ser aprovechados para la generación de electricidad.

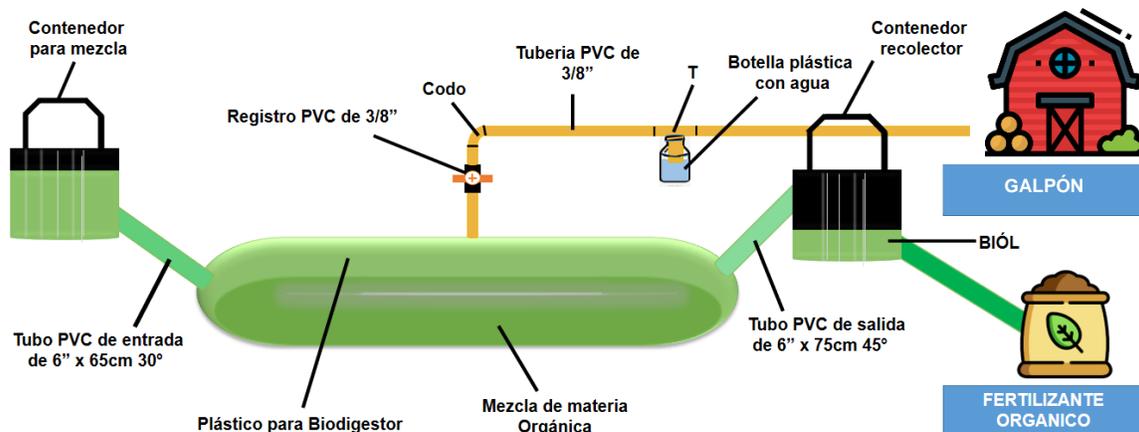
En este sentido, se establece en literatura que el biogás tiene un potencial para la producción de electricidad de 1.25 kWh por cada metro cúbico, lo cual permite estimar que con los 314.0 m³/ciclo de biogás que se tienen en exceso se puede llegar a producir 391.5 kW de energía eléctrica por ciclo. Al comparar con el requerimiento de electricidad del galón, se observa que, por cada ciclo productivo de las aves, el biogás que se podría generar por la pollinaza solo alcanza para suplir el 6.4 % de la energía eléctrica requerida. De acuerdo con las tecnologías disponible en materia de motores de generación de electricidad a partir de biogás, y dado su alto coste, no se hace viable la implementación de este sistema para el aprovechamiento del biogás generado a partir de la pollinaza. Por ello, se recomienda la utilización del exceso de biogás en el consumo doméstico de la granja.

4.4. Análisis económico

Dado el volumen calculado para el biodigestor, y teniendo en cuenta la necesidad de minimizar los costos de instalación, para este trabajo se seleccionó un biodigestor tipo balón plástico. En la Figura 11 se detalla el diseño del sistema de cogeneración propuesto, el cual está compuesto por un contenedor de entrada en donde se realiza la mezcla pollinaza/agua, con capacidad para 1000 litros; el biodigestor tipo balón de flujo continuo, compuesto por un plástico de polietileno tubular calibre 8 de dimensiones adecuadas para asegurar que el biodigestor tenga un largo de 9 m y una altura de 1 m, ubicado en una zanja que se encuentra por debajo del nivel del suelo (profundidad de entre 50 y 60 cm); un tanque de salida (capacidad 500 L) para la recolección del biól que se obtiene luego del proceso de

digestión anaeróbica, el cual puede ser aprovechado como fertilizante para aplicaciones agrícolas; un filtro de agua para eliminar el H₂S presente en el biogás producido; y las conexiones de tubería adecuadas para el funcionamiento del sistema.

Figura 11. Esquema del sistema de cogeneración de electricidad y biogás a partir de la excreta de pollo



A partir de ello se construye el flujo de caja a 6 años para la implementación del biodigestor, mostrado en la Tabla 3. Para ello se tuvieron en cuenta la inversión inicial de materiales, maquinaria y mano de obra para la implementación del biodigestor; el costo de mantenimiento y operación anual durante los primeros seis años de ejecución (teniendo en cuenta que este es el tiempo estimado al cual hay que cambiar el plástico del biorreactor); y el ahorro en el consumo de propano para la operación del galpón.

Para calcular el ahorro en el consumo de propano se toma como referencia un costo de \$4250 por m³, y se tiene en cuenta que, con un ciclo de crecimiento de 45 días se pueden ejecutar 8 ciclos al año, obteniendo un costo total en gas propano de \$1.938.816 al año, el cual se proyecta a 6 años con un crecimiento anual del 5 %.

Tabla 3. Flujo de caja del proyecto del biodigestor para generación de biogás a partir de pollinaza

Años	1	2	3	4	5	6
Inversión						
Materiales	2.400.000					
Maquinaria	180.000					
Mano de obra	250.000					
Total inversión	2.830.000	0	0	0	0	0
Costos						
Mano de obra	1.250.000	1.312.500	1.378.125	1.447.031	1.519.383	1.595.351
Mantenimiento	100.000	105.000	110.250	115.762	121.551	127.628
Renovación plástico tubular	25.000	26.250	27.562	28.941	30.388	31.907
Total costos	1.375.000	1.443.750	1.515.937	1.591.734	1.671.321	1.754.887
Gas propano por año	1.938.816	2.035.757	2.137.545	2.244.422	2.356.643	2.474.475

Con base en la información de la Tabla 3 se calcula el valor presente neto (VPN) del proyecto y la Tasa interna de retorno (TIR). El VPN se establece en \$ 391.806 mientras que la TIR es del 9.03 %, siendo los dos parámetros positivos se establece que el proyecto presente viabilidad económica.

5. CONCLUSIONES

La excreta de pollo producida en una granja avícola del municipio de Los Santos presenta las características fisicoquímicas adecuadas para la implementación de un sistema de generación de biogás que permita la obtención de la cantidad de gas necesaria para el sostenimiento de un galpón de pequeñas dimensiones.

La implementación de un proceso de generación de biogás en una granja avícola pequeña basado en la digestión anaeróbica de la excreta de gallina generada por la misma granja presenta viabilidad económica al ejecutarse durante 6 años, debido a que permite ahorrar los costos en gas propano a los que el productor se ve sometido para el mantenimiento de la temperatura adecuada de los galpones.

El proceso de cogeneración de electricidad aplicado a granjas pequeñas no presenta viabilidad económica debido a que los volúmenes de excreta de pollo generadas y su potencial de conversión a energía eléctrica, no alcanzan a suplir la demanda total de electricidad que se requiere para mantener la temperatura en los galpones, dada la alta inversión inicial que se debe realizar para la adquisición del motor de generación adecuado.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda el desarrollo de proyectos de investigación que permitan desarrollar dispositivos para la generación de electricidad eficiente a partir del biogás que se produce de la excreta de pollo, para así dar viabilidad al proceso completo de cogeneración en una granja avícola de pequeña escala.

Se hace necesario fortalecer los grupos de investigación de las UTS para desarrollar proyectos de investigación de transferencia tecnológica que permitan mejorar los procesos de industrialización y mejoramiento de la industria avícola de la región.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Najafpour, G. D., Zinatizadeh, A. A., Mohamed, A. R., Hasnain, I. M., & Nasrollahzadeh, H. (2006). Digestión anaeróbica de alta tasa de efluentes de molinos de aceite de palma en un biorreactor anaeróbico de película fijada con lodo de flujo ascendente. *Bioquímica de procesos*, 41(2), 370-379.
- Holm-Nielsen, J. B., Al Seadi, T., & Oleskowicz-Popiel, P. (2009). El futuro de la digestión anaeróbica y la utilización de biogás. *Tecnología Bioambiental*, 100(22), 5478-5484.
- Risberg, K., Sun, L., Levén, L., Horn, S. J., & Schnürer, A. (2013). Producción de biogás a partir de paja y estiércol de trigo: impacto del pretratamiento y parámetros operativos del proceso. *Tecnología Bioambiental*, 149, 232-237.
- Trehan, K. (1990). *Biotechnology*. New Age International Publisher.
- Zhang, L., Hendrickx, T., Kampman, C., Temmink, H., & Zeeman, G. (2013). Codigestión para apoyar el pretratamiento anaeróbico a baja temperatura de aguas residuales municipales en un digester UASB. *Tecnología Bioambiental*, 148, 560-566.
- Abbasi, T., & Tauseef, S. (2011). *Energía de biogás* (Vol. 2). Springer: Springer Science & Business Media.
- Aguil, J. L. (2015). *Estimación del potencial de energía eléctrica a partir de una unidad de volumen de excreta de gallina proveniente de granjas avícolas*. Santiago de Cali: Universidad del Valle.
- Ariza Andrade, O. A. (2017). *Estudio de impacto ambiental para una granja de engorde en el municipio de Fusagasugá*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Asheal Mutungwazi, P. M. (10 de Julio de 2017). Biogas digester types installed in South Africa: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 172-180. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.051>
- Bernal Patiño, L. E. (2018). *DISEÑO CONCEPTUAL DE UN BIODIGESTOR PARTIENDO DE ESTIÉRCOL VACUNO*. Bogotá: Autor. Obtenido de Argentina.gov.ar.
- Boe, K. (2006). *Monitoreo y control en línea del proceso de biogás*. Dinamarca: Oficina de Información Científica y Técnica del Departamento de Energía de EE. UU.
- Castro Martínez, J. F. (2014). *Aprovechamiento de gallinaza para generación de biogás en un proyecto de engorde de pollos*. Guatemala: Universidad Galileo. Obtenido de <http://biblioteca.galileo.edu/tesario/handle/123456789/51>
- Chen, L., Zhao, L., Ren, C., & Wang, F. (2012). El progreso y las perspectivas de la producción de biogás rural en China. *La política energética*, 51, 58-63.
- Duarte Rodríguez, W. L., Odales Bernal, L., Álvarez Meneses, R. R., González López, L. M., & Barrera Cardoso, E. L. (2021). Estimación del potencial de biogás a partir de la gallinaza. *Revista Cubana de Química*, 33(1), 54-69.
- Elsiver. (2005). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. En *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (págs. 409-443).
- Energyvm. (19 de agosto de 2020). energyvm.es. Obtenido de <https://www.energyvm.es/el-generador-eolico-como-funciona-y-que-usos-tiene/>
- Federación Nacional De Avicultores de Colombia (FENAVI). (2019). Aspectos productivos y administrativos en la industria avícola. *Fondo Nacional Avícola*, 1-56.

- FENAVI. (2019). *Biogás, una alternativa poco conocida y financieramente inexplorada*. Bogotá: FENAVI. Obtenido de <https://fenavi.org/wp-content/uploads/2019/11/Libro-Biogas-Nov-2019.pdf>
- Ferremax. (6 de Enero de 2021). *distribuidortruper.mx*. Obtenido de <https://distribuidortruper.mx/que-es-un-generador-electrico/>
- García Díaz, J. A. (2017). *Dimensionamiento y modelado de un sistema de descomposición anaerobia para la producción de biogás a partir de desechos avícolas y análisis del impacto ambiental asociado a su ciclo de vida*. Bucaramanga: Universidad Autónoma de Bucaramanga .
- Garzón Cuji, M. F. (2011). *Estudio de un biodigestor generador de gas metano mediante abono orgánico para prácticas de energías alternativas en el laboratorio de la facultad de ingeniería civil y mecánica de la universidad técnica de Ambato*. Ambato: Autor. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1344/1/Tesis%20I.%20M.%2095%20-%20Garz%C3%B3n%20Cují%20Marco%20Fabricio.pdf>
- Genes, A. (2015). *Estimación del potencial de energía eléctrica a partir de una unidad de volumen de excreta de gallina proveniente de granjas avícolas*. Santiago de Cali: Autor. Obtenido de [file:///C:/Users/ASUS%20VIVOBOK/Downloads/ejemplo%20proyecto%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/ASUS%20VIVOBOK/Downloads/ejemplo%20proyecto%20(1).pdf)
- Genes, J. L. (2015). *Biodigestor de balón plástico*. Santiago de Cali. Obtenido de ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE .
- Hagos, K., Zong, J., Li, D., Liu, C., & Lu, X. (2017). Proceso de codigestión anaeróbica para la producción de biogás: Avances, retos y perspectivas. *Revisión de energía renovable y sostenible*, 76, 1485-1496.
- Heubeck, S., Craggs, R. J., & Shilton, A. (2007). Influencia de la depuración de CO₂ del biogás en el rendimiento del tratamiento de un estanque de algas de alta tasa. *Ciencia y tecnología del agua*, 55(11), 193-200.
- IEA. (2019). *Renewables 2019*. Francia: IEA Publications.
- IEA. (2021). *Global Energy Review 2021*. Francia: IEA Publications.
- Jay N. Meegoda, B. L. (11 de Octubre de 2018). A Review of the Processes, Parameters, and Optimization of Anaerobic Digestion. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 3-16. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/ijerph15102224>
- Kampanatsanyakorn, K., Holasut, S., & Kachanadul, P. (2013). *Patente nº WO2013034947 A1*.
- Karthik Rajendran, S. A. (8 de Agosto de 2012). Household Biogas Digesters - A Review. *Energies*, 2911-2942. Obtenido de <file:///C:/Users/ASUS%20VIVOBOK/Downloads/energies-05-02911.pdf>
- Kayode Feyisetan Adekunle, J. A. (26 de Marzo de 2015). Una revisión del proceso bioquímico de la digestión anaeróbica. *Avances en Biociencia y Biotecnología*, 89-92. Obtenido de [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1437292](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1437292)
- Khoiyangbam. (2011). *Tecnología de biogás: hacia el desarrollo sostenible*. Palestina: Instituto de Energía y Recursos (TERI).

- Madigan, M. T., Martinko, J. M., & Parker, J. (2003). *Biología Brock de microorganismos 10^a ed.* (Vol. 11). Nueva Jersey: Upper Saddle River (Nueva Jersey): Prentice-Hall.
- Mantilla Suárez, N. F. (2017). *Biogás, aprovechamiento energético de una granja ganadero-avícola*. Bucaramanga: Uniservisad de Santander.
- Metclaf, L., Eddy, H., & Tchobanoglous, G. (2004). *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, eliminación y reutilización* (Vol. 4). Nueva York: Nueva York [etc.]: McGraw-Hill.
- MINENERGIA, PNUD, FAO, GEF. (2011). *Manual de Biogás*. Santiago de Chile: Proyecto CHI/00/G32. Obtenido de <https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
- MINENERGIA, PNUD, FAO, GEF. (2011). *Manual del Biogás*. Santiago de Chile: Proyecto CHI/00/G32. Obtenido de <https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
- Miyamoto, K., & (Ed). (1997). *Sistemas biológicos renovables para la producción de energía alternativa sostenible*. Org. De Agricultura y Alimentación.
- Muñoz López, S. M. (2018). *Evaluación del potencial energético de pollinaza y residuos de poscosecha de rosas mediante co-digestión anaerobia*. Bogotá: Universidad Santo Tomás.
- Najafpour, G. D. (2015). *Ingeniería bioquímica y biotecnología, 2^a ed.* Amsterdam: Elsevier.
- Ngaram, S. M., Sulyman, M., Zungum, I. U., Tijjani, A., Audu, M. Y., & Mohammed, I. B. (2018). GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE ESTIÉRCOL DE AVES DE CORRAL. *Revista Gashua de Ciencias y Humanidades*, 2, 43-47.
- Noorollahi, Y., Kheirrouz, M., Asl, H. F., Yousefi, H., & Hajinezhad, A. (2015). Potencial de producción de biogás a partir de estiércol de ganado en Irán. *Revisión de energía renovable y sostenible*, 50, 748-754.
- Noorollahi, Y., Kheirrouz, M., Asl, H. F., Yousefi, H., & Hajinezhad, A. (2015). Potencial de producción de biogás a partir de estiércol de ganado en Irán. *Revisión de energía renovable y sostenible*, 50, 748-754.
- Perez Villa, M. V., & Villegas calle, R. A. (2009). *PROCEDIMIENTOS PARA EL MANEJO DE RESIDUOS ORGÁNICOS AVÍCOLAS*. Medellín: Universidad de antioquia.
- Politex S.A. (25 de Abril de 2019). *Aplicaciones de geomembrana: Biodigestores*. Obtenido de Politex S.A: <https://www.polytex.cl/noticias/aplicaciones-de-geomembrana-biodigestores-web-7>
- Practical Action. (2005). Ficha Técnica Biodigestores. *Practical Action*, 1-4. Obtenido de Practical Action: <https://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/03-biodigestores.pdf>
- Primagas. (15 de Abril de 2021). *blog primagas*. Obtenido de <https://blog.primagas.es/generacion-energia-electrica-con-gas>
- Rico, C., Muños, N., Fernández, J., & Rico, J. L. (2015). Codigestión anaeróbica de alta carga de suero de queso y fracción líquida de estiércol lácteo en un proceso UASB de una etapa: límites en la proporción de cosustratos y la tasa de carga orgánica. *Revista de ingeniería química*, 262, 794-802.
- Rowayda, A. S. (2015). *Producción de biogás a partir de estiércol de aves utilizando un nuevo sistema solar asistido*. Palestina: Universidad de Brizeit.
- Samimi, T. N., Ghasem D., N., Mostafa, R., & Hossein, A. (2015). Rendimiento del biorreactor de película fija de lodos anaeróbicos de flujo ascendente para el tratamiento de alta carga orgánica y la producción de biogás de aguas residuales

- de suero de queso. *Industria Química e Ingeniería Química Trimestral*, 21(2), 229-237.
- Stronach, S. M., Rudd, T., & Lester, I. N. (1986). *La microbiología de la digestión anaeróbica. Procesos de digestión anaeróbica en el tratamiento de aguas residuales industriales*. Springer.
- Suárez, V. D. (Marzo de 2019). Estimación de la producción de biogás a partir de un modelo de simulación de procesos. *Centro Azúcar*, 46, 73-85. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v46n1/2223-4861-caz-46-01-73.pdf>
- Sun, L., Pope, P. B., Eijsink, V. G., & Schnürer, A. (2015). *Caracterización de la estructura de la comunidad microbiana durante la digestión anaeróbica continua de paja y estiércol de vaca* (Vol. 8). Noruega: Microb Biotechnol.
- Templeton, R., & Tom Bond, M. (2011). Historia y futuro de las plantas domésticas de biogás en el mundo en desarrollo. *Energía para el Desarrollo Sostenible*, 15(4), 347-354.
- TIEMPO, E. (1998). EL ESTIÉRCOL ES DINERO. *El tiempo*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-800746>
- Tsapekos, P., Kougiyas, P., Treu, L., Campanaro, S., & Angelidaki, I. (2017). *Rendimiento del proceso y análisis metagenómico comparativo durante la codigestión de estiércol y biomasa lignocelulósica para la producción de biogás* (Vol. 185). Italia : Appl Energy.
- Twenergy. (11 de Noviembre de 2019). *twenergy.com*. Obtenido de <https://twenergy.com/energia/energia-solar/como-funciona-energia-solar-fotovoltaica/>
- UIS, UPME e Ideam. (2011). *Atlas del potencial energético de la Biomasa residual en Colombia*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- UNAL y UPME. (2017). *Estimación del potencial de conversión a biogás de la biomasa en Colombia y su aprovechamiento*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Van Haandel, A., & Lettinga, G. (1994). *Tratamiento anaeróbico de aguas residuales*. Londres, Inglaterra: Jhon Wiley & Sons.
- Vavilin, V., Fernandez, B., Palatsi, J., & Flotats, X. (2008). *Cinética de hidrólisis en la degradación anaeróbica de material orgánico particulado: descripción general* (Vol. 28). Rusia: Waste Manag.
- Vega Martinez, D. J. (2020). *ESTUDIO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE BÚFALO MEDIANTE LA BIODIGESTIÓN EN EL MUNICIPIO DE RIONEGRO, SANTANDER*. Bucaramanga: Autor.
- Weather Spark. (Febrero de 2022). *Weather Spark*. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/24383/Clima-promedio-en-Los-Santos-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#>
- Yeh, T. (2014). Desarrollo del generador eléctrico eólico de campo completo. *Internacional de Energía Eléctrica y Sistemas de Energía* , 420-428.