



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

Proyecto de Investigación previo a
la obtención del Título de
Ingeniería en Gestión Ambiental

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

**“EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DE LA BIODIGESTION COMO SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE LA GRANJA PORCINA “GALO
PORCINO” CANTÓN ECHEANDIA, PROVINCIA DE BOLIVAR, AÑO 2016”**

AUTORA:

Sánchez Hinojosa Yomely Thaily

DIRECTOR:

Ing. Julio César Pazmiño Rodríguez, MSc.

Quevedo-Los Ríos- Ecuador

2017

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Sánchez Hinojosa Yomely Thaily**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Sánchez Hinojosa Yomely Thaily

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, Ing. Julio Cesar Pazmiño Rodríguez, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que la estudiante **Sánchez Hinojosa Yomely Thaily**, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado **“EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DE LA BIODIGESTION COMO SISTEMA DE TRATAMIENTNO DE LOS RESIDUOS DE LA GRANJA PORCINA “GALO PORCINO” CANTÓN ECHEANDIA, PROVINCIA DE BOLIVAR, AÑO 2016”** previo a la obtención del título de Ingeniería en gestión ambiental, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Ing. Julio Cesar Pazmiño Rodríguez
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

PROYECTO DE INVESTIGACION

TÍTULO:

**“EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DE LA BIODIGESTION COMO SISTEMA DE
TRATAMIENTNO DE LOS RESIDUOS DE LA GRANJA PORCINA “GALO
PORCINO” CANTÓN ECHEANDIA, PROVINCIA DE BOLIVAR, AÑO 2016”**

Presentado a la Comisión Académica como requisito previo a la obtención del título de
Ingeniera en Gestión Ambiental.

Aprobado por:

ING. CAROLINA TAY HING CAJAS
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL
DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

BLGO. JUAN PABLO URDANIGO ZAMBRANO
MIEMBRO DEL TRIBUNAL
DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

ING. ÁNGEL YÉPEZ ROSADO
MIEMBRO DEL TRIBUNAL
DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

QUEVEDO – LOS RIOS – ECUADOR
2017

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de amor, experiencia y felicidad.

A mis padres Aurelio Sánchez y Nora Hinojosa por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

A mis hermanas y sobrino por ser parte importante de mi vida. A Jessenia Erazo por ser un ejemplo de desarrollo profesional a seguir, a Nohely Sánchez y Jaimito Viteri por llenar mi vida de alegría y amor cuando más lo he necesitado.

A mi novio Jonathan Pillasagua, por ser también parte muy importante de mi vida, por haberme acompañado en cada paso que di para realizar mi tesis, sobre todo por su paciencia y amor incondicional.

A mi cuñado Raúl Vera, me brindó su ayuda en el trabajo de campo de mi tesis, gracias por su paciencia y voluntad.

A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo por haberme abierto las puertas para estudiar y prepararme y cumplir un sueño en mi vida obtener el título de Ingeniera en Gestión Ambiental.

Le agradezco también la confianza, apoyo y dedicación de tiempo a mi profesor el Ing. Julio Pazmiño por haber compartido conmigo sus conocimientos y sobre todo su amistad.

A mis compañeros de aula por haber compartido conmigo gratos momentos y haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto de vivencias que nunca olvidare.

DEDICATORIA

Su afecto y cariño son los detonantes de mi felicidad, de mi esfuerzo y de mis ganas de salir adelante, es por ello que dedico este proyecto de tesis a mis padres, **Aurelio Sánchez y Nora Hinojosa**, que han sido quienes han velado por mí y se han esforzado día a día por mi bienestar, depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad, es por ustedes que soy lo que soy ahora.

ÍNDICE

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	iii
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xv
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xv
RESUMEN EJECUTIVO	1
ABSTRACT	3
CÓDIGO DUBLIN	5
INTRODUCCIÓN.....	8
CAPÍTULO 1	9
MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
1.1. Problema de investigación.....	10
1.1.1. Planteamiento del problema.	10
1.1.1.1 Diagnóstico.....	10
1.1.1.2 Pronóstico.....	11
1.1.2. Formulación del problema.....	11
1.1.3. Sistematización del problema.	11

1.2.	OBJETIVOS	12
1.2.1.	Objetivo General.....	12
1.2.2.	Objetivos Específicos	12
1.3.	JUSTIFICACIÓN.....	12
CAPÍTULO 2		13
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN		13
2.1.	Marco conceptual	13
2.1.1.	Biogás	13
2.1.2.	Composición del biogás	13
2.1.3.	Propiedades Energéticas del Biogás.	14
2.1.4.	Usos del Biogás	14
2.1.5.	Producción de biogás a nivel mundial.....	15
2.1.6.	Producción porcina.....	16
2.1.6.1	Producción porcina en el Ecuador.....	16
2.1.6.2	Sistemas de producción.....	18
2.1.6.2.1.	Sistema extensivo	18
2.1.6.2.2.	Sistema intensivo	19
2.1.6.2.3.	Sistema Semi-extensivo o Semi-intensivo.....	20
2.1.7.	Digestión Anaerobia	20

2.1.7.1	Generalidades	20
2.1.7.2	Degradación anaeróbica de la materia orgánica.....	22
2.1.7.3	Etapas de la fermentación metanogénica	23
2.1.7.3.1.	Hidrólisis.....	24
2.1.7.3.2.	Acidogénesis	24
2.1.7.3.3.	Acetogénesis	24
2.1.7.3.4.	Metanogénesis	24
2.1.7.4	Microorganismos anaeróbicos.....	25
2.1.7.5	Factores físicos y químicos que afectan la anaerobiosis	26
2.1.7.6	Composición del sustrato	27
2.1.7.7	Relación C: N: P (Balance De Nutrientes).....	27
2.1.7.8	pH, AGV y alcalinidad.....	29
2.1.7.9	Temperatura	31
2.1.7.10	Oxígeno y potencial redox	31
2.1.7.11	Mezclado y formación de espuma.....	32
2.1.7.12	Reactores anaerobios.....	33
2.1.7.12.1.	Inoculo	33
2.1.7.12.2.	Minidigestores	34
2.1.7.12.3.	Biodigestor tipo hindú	35

2.1.7.12.4. Biodigestor tipo chino.....	35
2.1.7.13 Digestores convencionales	37
2.1.7.13.1. De una etapa.....	37
2.1.7.13.2. De doble etapa	38
2.1.8. Otros tipos de biodigestores.	38
2.2. Marco Referencial	40
CAPÍTULO 3	41
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	41
3.1. Localización.....	41
3.2. Tipo de Investigación	42
3.3. Métodos de investigación	42
3.4. Fuentes de recopilación de información.	43
3.5. Diseño de la Investigación.....	43
3.5.1. Caracterizar la generación de residuos en la granja porcina “Galo Porcino”	43
3.5.2. Ensayar la biodigestión de las deyecciones porcinas de la granja.....	44
3.5.2.1 Construcción del Biodigestor	44
3.5.2.2 Mecanismo de Biodigestión	44
3.5.2.2.1. Recolección del estiércol porcino	44
3.5.2.2.2. Determinación de la densidad del estiércol	45

3.5.2.2.3.	Determinación de la cantidad del sustrato.	45
3.5.2.2.4.	Monitoreo de parámetros fisicoquímicos	46
3.5.3.	Proponer un diseño de sistema de biodigestión para el tratamiento del total de las deyecciones de la granja porcina “Galo Porcino”	47
3.5.3.1	Cálculos del Diseño.....	47
3.5.3.1.1.	Cálculo de la generación de estiércol diario de la granja.....	47
3.5.3.1.2.	Cálculo de la generación de estiércol diario del cubículo.....	48
3.5.3.1.3.	Volumen disponible de estiércol.....	48
3.5.3.1.4.	Volumen de sustrato	48
3.5.3.1.5.	Volumen de carga	49
3.6.	Instrumentos de investigación	49
3.7.	Tratamiento de los datos.....	49
3.8.	Recursos Humanos y Materiales	50
3.8.1.	Recursos humanos.	50
3.8.2.	Materiales de oficina	50
3.8.3.	Materiales de campo.....	50
CAPÍTULO 4		51
RESULTADOS Y DISCUSION		51
4.1.	Resultados.....	52

4.1.1.	Generación de deyecciones en la granja porcina “Galo Porcino”	52
4.1.1.1	Valoración del estiércol diario en la granja.....	52
4.1.1.2	Análisis de varianza	53
4.1.2.	Ensayo de la biodigestión de las deyecciones porcinas de la granja	53
4.1.2.1	Recolección del estiércol porcino	54
4.1.2.1.1.	Densidad del Estiércol	55
4.1.2.2	Volumen del sustrato.....	55
4.1.2.3	Monitoreo de parámetros físico-químico	56
4.1.2.3.1.	Monitoreo del pH.....	56
4.1.2.3.2.	Monitoreo de Temperatura	57
4.1.2.3.3.	Monitoreo de Sólidos Totales	58
4.1.2.3.4.	Monitoreo de Sólidos Volátiles Totales.....	60
4.1.3.	Propuesta de un Diseño de Sistema de Biodigestión.....	61
4.1.3.1	Cálculos del Diseño.....	61
4.1.3.1.1.	Cálculo de la Generación de Estiércol diario de la Granja	61
4.1.3.1.2.	Cálculo de la Generación de Estiércol diario en el cubículo	61
4.1.3.1.3.	Volumen de Estiércol en el Biodigestor	62
4.1.3.1.4.	Volumen de sustrato	62
4.1.3.1.5.	Volumen de Carga a ingresar en el Biodigestor	63

4.1.3.2	Diseño del biodigestor.....	64
4.1.3.2.1.	Depreciación de materiales de construcción del biodigestor.....	65
4.1.3.2.2.	Costo de materiales.....	65
4.2.	Discusión	66
CAPÍTULO 5		67
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		67
5.1.	CONCLUSIONES.....	68
5.3.	RECOMENDACIONES	69
CAPÍTULO 6		70
BIBLIOGRAFIA		70
6.1.	BIBLIOGRAFÍA.....	71
CAPÍTULO 7		74
ANEXOS.....		74
7.1.	Matriz FODA.....	75
7.2.	Fotografías.....	76

INDICE DE TABLA

Tabla 1. Composición Química del Biogás	13
Tabla 2. Eliminación de residuos porcinos por región	17
Tabla 3. Bacterias que intervienen en la fermentación durante las 4 fases	26
Tabla 4. Cantidad de excreta fresca y producción de biogás.....	28
Tabla 5. Rango óptimo de pH para la degradación de diferentes sustratos.....	30
Elaboración: Autora	
Tabla 6. Coordenadas de la granja Galo Porcino	41
Tabla 7. Generación de estiércol diario por porcino.	43
Tabla 8. Registro de material a ingresar en el biodigestor	44
Tabla 9. Parámetros químicos	46
Tabla 10. Registro diario de temperatura	47
Tabla 11. Generación diaria de estiércol porcino en kg	52
Tabla 12. Análisis de Varianza.....	53
Tabla 13. Cantidad de material ingresado en el biodigestor	55
Tabla 14. Sólidos Totales	58
Tabla 15. Contenido promedio de Sólidos Totales en diversos residuos	59
Tabla 16. Sólidos Volátiles Totales.....	60
Tabla 17. Relación estiércol - agua	62
Tabla 18. Costo de materiales para construcción de biodigestor	65
Tabla 19. Matriz FODA del estado actual de la granja Galo Porcino	75

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Cambios de pH	56
Gráfico 2 Cambios de Temperatura.....	57
Gráfico 3 Sólidos Totales	59
Gráfico 4. Solidos Volátiles Totales.....	60

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Etapas de la digestión anaerobia.....	22
Ilustración 2. Biodigestor tipo hindú	35
Ilustración 3. Biodigestor tipo Chino	36
Ilustración 4. Componentes de un digestor puxin de 10m3	39
Ilustración 5. Área de estudio, granja porcina	41
Ilustración 6. Modelo del biodigestor piloto	54
Ilustración 7. Diseño del Biodigestor	64

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación consistió en construir un biodigestor a escala piloto para evaluar la viabilidad de la biodigestión a partir de excretas porcinas en la granja “Galo Porcino” ubicada en el cantón Echeandia provincia de Bolívar, la granja cuenta con un total de 500 cerdos en la etapa de engorde específicamente, dividido en 5 cubículos, teniendo 100 en cada uno, generando un total 1.130 kg/día de excretas, las deyecciones generadas por los animales, son dispuestas por medio de tuberías hasta unas piscinas de oxidación a cielo abierto ubicadas dentro de la misma granja, teniendo en cuenta esta problemática se realizó la construcción de un biodigestor y para ello se utilizó un tanque de metal al cual se le adaptó dos llaves de paso una colocada en la parte superior para la salida del biogás y otra en la parte inferior para la salida del biol, así mismo un termómetro para gas, una manivela para el constante movimiento del material que se encuentra dentro y también se etiquetó el tanque con un adhesivo que indicó que es un gas inflamable, la recolección se la realizó el día 10 de Enero ingresando al biodigestor 160 L de sustrato dejando el 25% libre para la producción de biogás, los datos de temperatura fueron tomados a partir del segundo día del funcionamiento en tres horarios diferentes (7am; 12pm; 5pm) por 75 días, las temperaturas fueron de 25°C ascendiendo a los 8 días a 42°C y en los últimos días 24° manteniéndose ya constante, a partir del día 40 se realizaron análisis fisicoquímico en el laboratorio de agua y suelo de la UTEQ, se tomaron muestras de biol y se realizaron análisis de pH el cual se mantuvo en el rango de neutralidad (6,49), Sólidos Totales y Solidos Volátiles Totales una vez por semana durante un mes. Se propone el diseño de un biodigestor a escala real, que trate las deyecciones generadas en su totalidad, para esto se plantean cálculos matemáticos, para conocer la generación diaria de excretas al día, el volumen de sustrato que debe ingresar al biodigestor, y el volumen de carga diaria, el biodigestor propuesto que trate el total de excretas será un tipo chino tendrá una dimensión de 4m de ancho; 4m de largo y 3m de altura debe ser construido de material de concreto, con un flujo semicontinuo, y con carga de sustrato de 10 días, estará colocado de forma subterránea y por sus características resistentes tendrá una vida útil de 15 años mínimo. La construcción del biodigestor tendrá

un costo de \$5618,15 incluyendo todas las instalaciones y mano de obra, el tiempo destinado para la construcción será de 2 meses.

Se recomienda al propietario de la granja la construcción del biodigestor como una alternativa viable para el manejo adecuado de los residuos orgánicos y la protección del ambiente evitando la acumulación excesiva de estiércol.

Palabras clave: Deyecciones, Excretas, Sustratos, Biol.

ABSTRACT

The present research consisted in the construction of a pilot-scale biodigester to evaluate the viability of biodigestion from porcine excreta in the "Galo Porcino" farm located in the Echeandia canton of Bolívar province. The farm has a total of 500 pigs in the Fattening stage specifically, divided into 5 cubicles, having 100 in each, generating a total of 1,160 kg / day of excreta, the animal generated dejections, are arranged through pipes to open oxidation pools located inside The same farm, taking into account this problem was made the construction of a biodigester and for that was used a metal tank to which was adapted two stopcocks one placed at the top for the exit of the biogas and another in the part Inferior for the exit of the biol, also a gas thermometer, a crank for the constant movement of the material that is inside and ta The tank was also marked with an adhesive indicating that it is a flammable gas, the collection was carried out on January 10 by entering into the biodigester 160 L of substrate leaving 25% free for the production of biogas, temperature data were taken From the second day of operation in three different schedules (7am; 12pm; 5pm) for 75 days, the temperatures were 25 ° C and 8 days at 42 ° C, and in the last 24 days remaining constant, starting on day 40, a physico-chemical analysis was performed in the water and soil laboratory of The UTEQ, biol samples were taken and pH analyzes were performed which remained in the neutrality range (6.49), Total Solids and Total Volatile Solids once a week for a month. It is proposed the design of a biodigester on a real scale, which treats the totally generated dejections, for which mathematical calculations are proposed, to know the daily generation of excreta per day, the volume of substrate to enter the biodigester, and the volume Of daily load, the proposed biodigester treating the total excreta will be a Chinese type will have a dimension of 4m wide; 4m long and 3m high must be constructed of concrete material, with a semi-continuous flow, and with substrate load of 10 days, will be placed underground and its resistant characteristics will have a minimum useful life of 15 years. The construction of the biodigester will cost \$ 5618.15 including all facilities and labor, the time allocated for construction will be 2 months.

The owner of the farm is recommended to construct the biodigester as a viable alternative for the proper management of organic waste and the protection of the environment, avoiding the excessive accumulation of manure.

Key Words: Dejections, Excreta, Substrates, Biol.

CÓDIGO DUBLIN

Titulo:	“Evaluación de viabilidad de la biodigestión como sistema de tratamiento de los residuos de la granja porcina Galo Porcino, Cantón Echeandia, Provincia de Bolívar, año 2016 ”
Autor:	Sánchez Hinojosa Yomely Thaily
Palabras Claves:	Deyecciones, Excretas, Sustratos, Biol.
Fecha de Publicación:	Jueves, 03 Mayo 2017
Editorial:	Quevedo: UTEQ, 2017
Resumen:	RESUMEN.- La presente investigación consistió en construir un biodigestor a escala piloto para evaluar la viabilidad de la biodigestión a partir de excretas porcinas en la granja “Galo Porcino” ubicada en el cantón Echeandia provincia de Bolívar, la granja cuenta con un total de 500 cerdos en la etapa de engorde específicamente, dividido en 5 cubículos, teniendo 100 en cada uno, generando un total 1.130 kg/día de excretas, las deyecciones generadas por los animales, son dispuestas por medio de tuberías hasta unas piscinas de oxidación a cielo abierto ubicadas dentro de la misma granja, teniendo en cuenta esta problemática se realizó la construcción de un biodigestor y para ello se utilizó un tanque de metal al cual se le adaptó dos llaves de paso una colocada en la parte superior para la salida del biogás y otra en la parte inferior para la salida del biol, así mismo un termómetro para gas, una manivela para el constante movimiento del material que se encuentra dentro y también se etiqueto el tanque con un adhesivo que indico que es un gas inflamable, la recolección se la realizo el día 10 de Enero ingresando al biodigestor 160 L de sustrato dejando el 25% libre para la producción de biogás, los datos de temperatura fueron tomados a partir del segundo día del funcionamiento en tres horarios diferentes (7am; 12pm; 5pm) por 75 días, las temperaturas fueron de 25°C ascendiendo a los 8 días a 42°C y en los últimos días 24° manteniéndose ya constante, a partir del día 40 se realizaron análisis fisicoquímico en el laboratorio de agua y suelo de la UTEQ, se tomaron muestras de biol y se realizaron análisis de pH el cual se mantuvo en el rango de neutralidad (6,49), Sólidos Totales y Solidos Volátiles Totales una vez por semana durante un mes. Se propone el diseño de un biodigestor a escala real, que trate las deyecciones generadas en su totalidad, para esto se plantean cálculos matemáticos, para conocer la generación diaria de excretas al día, el volumen de sustrato que debe ingresar al biodigestor, y el volumen de carga diaria, el biodigestor propuesto que trate el total de excretas será un tipo chino tendrá una dimensión de 4m de ancho; 4m de largo y 3m de altura debe ser construido de material

	de concreto, con un flujo semicontinuo, y con carga de sustrato de 10 días, estará colocado de forma subterránea y por sus características resistentes tendrá una vida útil de 15 años mínimo. La construcción del biodigestor tendrá un costo de \$5618,15 incluyendo todas las instalaciones y mano de obra, el tiempo destinado para la construcción será de 2 meses. Se recomienda al propietario de la granja la construcción del biodigestor como una alternativa viable para el manejo adecuado de los residuos orgánicos y la protección del ambiente evitando la acumulación excesiva de estiércol. ABSTRACT.- The present research consisted in the construction of a pilot-scale biodigestor to evaluate the viability of biodigestion from porcine excreta in the "Galo Porcino" farm located in the Echeandia canton of Bolívar province. The farm has a total of 500 pigs in the Fattening stage specifically, divided into 5 cubicles, having 100 in each, generating a total of 1,160 kg / day of excreta, the animal generated dejections, are arranged through pipes to open oxidation pools located inside The same farm, taking into account this problem was made the construction of a biodigestor and for that was used a metal tank to which was adapted two stopcocks one placed at the top for the exit of the biogas and another in the part Inferior for the exit of the biol, also a gas thermometer, a crank for the constant movement of the material that is inside and ta The tank was also marked with an adhesive indicating that it is a flammable gas, the collection was carried out on January 10 by entering into the biodigester 160 L of substrate leaving 25% free for the production of biogas, temperature data were taken From the second day of operation in three different schedules (7am; 12pm; 5pm) for 75 days, the temperatures were 25 ° C and 8 days at 42 ° C, and in the last 24 days remaining constant, starting on day 40, a physico-chemical analysis was performed in the water and soil laboratory of The UTEQ, biol samples were taken and pH analyzes were performed which remained in the neutrality range (6.49), Total Solids and Total Volatile Solids once a week for a month. It is proposed the design of a biodigestor on a real scale, which treats the totally generated dejections, for which mathematical calculations are proposed, to know the daily generation of excreta per day, the volume of substrate to enter the biodigester, and the volume Of daily load, the proposed biodigestor treating the total excreta will be a Chinese type will have a dimension of 4m wide; 4m long and 3m high must be constructed of concrete material, with a semi-continuous flow, and with substrate load of 10 days, will be placed underground and its resistant
--	---

	characteristics will have a minimum useful life of 15 years. The construction of the biodigester will cost \$ 5618.15 including all facilities and labor, the time allocated for construction will be 2 months. The owner of the farm is recommended to construct the biodigester as a viable alternative for the proper management of organic waste and the protection of the environment, avoiding the excessive accumulation of manure.
Descripción:	Pág. 91 dimensiones, 21 x 29,7 cm + CD-ROM 6162
URI:	

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el 90% de las necesidades energéticas del planeta son satisfechas con la utilización de combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón), todos ellos extinguidos, fuertemente contaminantes. La tendencia mundial en lo que respecta la generación de energía eléctrica se encuentra básicamente en las fuentes alternativas de energía, las que nos proporciona de forma discreta la naturaleza, la eólica, la solar, la hidráulica, sin embargo existe otra fuente de energía que comienza a generalizarse, como es, la del biogás. [1].

La tecnología de fermentación anaerobia mediante la implementación de biodigestores, permite la generación de energías térmica o eléctrica que puede ser aprovechada en una empresa, finca o comunidad. Los factores a considerar para el diseño de un biodigestor son cantidad de residuos generados, características de los sustratos y ubicación. Se han desarrollado varios tipos de digestores, de distintos tiempos de vida útil y costos de operación y mantenimiento bajos [2]. La generación y uso del biogás como una fuente de Energía Renovable es rentable por lo que genera un gran ahorro económico, además del beneficio al ambiente que esta aporta al ser aprovechado.

Según el censo realizado en el 2010 mediante un convenio de cooperación entre el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), la Agencia Ecuatoriana para el Aseguramiento de la Calidad del Agro (AGROCALIDAD) y la Asociación de Porcicultores del Ecuador (ASPE), arrojan que en el país existen 1.737 granjas porcinas con más de 20 animales y/o con al menos 5 madres, con un total de 310.607 cerdos. [3]. La elaboración del Biodigestor en base a estiércol de ganado porcino, representa una opción de importantes ventajas a pequeña, mediana y gran escala, ya que mediante este se busca la producción de Biogás y el aprovechamiento del mismo.

El mal manejo y la mala disposición de los residuos generados dentro de la granja, conlleva a realizar este estudio en la granja porcina “Galo Porcino”, con el objetivo de

aprovechar especialmente las deyecciones generadas por los cerdos, en cada una de las etapas que se dan dentro de la granja.

CAPÍTULO 1
MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de investigación.

1.1.1. Planteamiento del problema.

Actualmente, en nuestro país, el alto porcentaje de residuos sólidos no aprovechados (especialmente los ganaderos), el despilfarro de los recursos económicos en la obtención de combustibles convencionales y biocombustibles, y la contaminación de estos residuos, es lo que ha conllevado a la implementación de métodos de obtención y transformación de los residuos ganaderos para el aprovechamiento energético de los mismos.

La problemática dentro de la granja porcina “Galo Porcino”, fue observada de manera directa, donde se visualiza la mala disposición de los residuos, haciendo énfasis en las deyecciones generadas por los animales, es por ello el interés en desarrollar y aplicar el presente proyecto como forma de aprovechar el estiércol y contribuir con el medio ambiente mediante la construcción de un biodigestor.

1.1.1.1 Diagnóstico.

Los residuos ganaderos se vienen aplicando como fertilizantes bien en los campos o en tierras de cultivo desde hace muchos años. Este hecho, en el pasado, resultaba beneficioso, dado que los ganaderos, al ser sus granjas pequeñas, disponían de terreno suficiente para la utilización de estos residuos como fertilizantes, sin crear problemas medioambientales. [4]

Sin embargo, en los últimos años, la paulatina desaparición de estas granjas pequeñas y el aumento de la ganadería intensiva, con un número elevado de animales por explotación, junto con el hecho del abandono del sistema tradicional, con base en la cama vegetal, ha dado lugar a una mayor fluidez y dilución de los residuos generados, aumentando su volumen, sin que existan siempre terrenos de cultivo suficientes para su adecuada eliminación. [4]

1.1.1.2 Pronóstico.

Al mantener una granja porcina se debe tener claro que existen problemas ambientales futuros, y este tiene que ver con la acumulación del estiércol, repercutiendo directamente al ambiente y generando la proliferación de vectores que afectan al animal y a la salud propia de las personas, este problema radica en no saber darle una disposición final o tratamiento al estiércol que se genera en grandes cantidades. [5]

Por ello, con este proyecto de investigación, se busca acabar con este problema medioambiental, aplicando tecnologías e ingenierías, que contribuyan al aprovechamiento de estos residuos.

1.1.2. Formulación del problema.

En la granja porcina “Galo Porcino” se evidencia la mala disposición final que tienen los residuos generados por los cerdos, de allí la importancia de aplicar un proyecto en el cual su problemática sea tomada en cuenta y se pueda aplicar diferentes métodos y técnicas que erradiquen este impacto.

De acuerdo a lo antes mencionado, el problema se plantea de la siguiente forma: ¿La construcción de un biodigestor anaerobio como sistema de tratamiento de los residuos porcinos es viable para el medio ambiente?

1.1.3. Sistematización del problema.

Al culminar con la elaboración y aplicación del proyecto de investigación titulado “Evaluación de la viabilidad de la biodigestión como sistema de tratamiento de los residuos de la granja porcina “Galo Porcino”, cantón Echeandia, provincia de Bolívar, año 2016”, se podrán responder la siguiente incógnita que le dará una mejor comprensión al tema de estudio y llegar a concluir con los objetivos propuestos.

¿La construcción de un biodigestor anaerobio como sistema de tratamiento de los residuos porcinos es viable para el medio ambiente?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Evaluar la viabilidad de la biodigestion como sistema de tratamiento de los residuos de la granja porcina “Galo Porcino”

1.2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar la generación de residuos en la granja porcina “Galo Porcino”
- Ensayar la biodigestion de las deyecciones porcinas de la granja
- Proponer un diseño de sistema de biodigestion para el tratamiento del total de las deyecciones de la granja porcina “Galo Porcino”

1.3. JUSTIFICACIÓN

La finalidad de realizar el presente proyecto de investigación es adoptar adecuadas medidas de generación energética, a partir de recursos renovables que sean amigables con el medio ambiente y mejorando la calidad de vida. La energía renovable abre una gran oportunidad para contribuir a nuestra seguridad energética, evitando un exceso de contaminación de suelo y agua, y a su vez que nos sumamos al esfuerzo global del combate al cambio climático. La construcción de biodigestores es uno de los métodos de producción más limpia, donde se aprovechan los residuos orgánicos (estiércol) generados por actividades ganaderas, a través de estos es posible obtener como producto final una energía renovable llamada biogás.

El biogás es recurso renovable cuyo potencial no ha sido explotado en su totalidad. Hoy en día, a partir de la generación de biogás, es posible obtener energías mediante la implementación de dispositivos, como las turbinas de gas, para la generación energética.

CAPÍTULO 2
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Biogás

Es una mezcla de gases cuyos principales componentes son el metano y el bióxido de carbono, el cual se produce como resultado de la fermentación de la materia orgánica en ausencia de aire por la acción de un grupo de microorganismos que interactúan con otros factores. [6]

El biogás es la fase gaseosa; mezcla de metano, bióxido de carbono, nitrógeno, gas sulfuroso y vapor de agua. El contenido de gases combustibles lo hacen muy útil como recurso energético en una granja. [6]

El metano es un combustible inodoro, incoloro, cuya combustión produce una llama azul y productos no contaminantes, es el principal contribuyente del gas natural, ya que más del 90% de este combustible es metano. [6]

2.1.2. Composición del biogás

Esta puede variar de acuerdo con el tipo de material orgánico utilizado en la carga del biodigestor y con el tiempo que se utilice en el proceso de biodigestion.

La proporción de los componentes del biogás es la siguiente:

Tabla 1. Composición Química del Biogás

Componente	Formula química	Porcentaje
Metano	CH ₄	60-70
	CO ₂	30-40
Bióxido de carbono		
Hidrogeno	H ₂	Hasta 1.0
Sulfuro de hidrogeno	-----	Hasta 1.0
Nitrógeno	N ₂	0.5-3

Monóxido de carbono	CO	0.1
Oxígeno	O ₂	0.1
Ácido sulfhídrico	H ₂ S	0.1

Fuente: Rolando. Identificación de los Distintos Tipos de Biomasa

Elaborado: Autora

2.1.3. Propiedades Energéticas del Biogás.

Las propiedades del biogás se deben a la presencia del gas metano como combustible principal y del hidrogeno en proporción al contenido de los mismos.

“La combustión es muy limpia dando como productos finales bióxido de carbono y agua que no son contaminantes; por esta razón se dice que el biogás es un combustible ecológico. El poder calorífico del biogás está comprendido entre 4.500 y 6.000 kilocalorías/m³ dependiendo de su composición”. [7]

El biogás tiene un poder calorífico algo mayor que la mitad del poder calorífico del gas natural. Un biogás con un contenido en metano del 60% tiene un poder calorífico de unas 5.500 kcal/Nm³. [8]

2.1.4. Usos del Biogás

El biogás producido en procesos de digestión anaerobia puede tener diferentes usos:

- En una caldera para generación de calor o electricidad.
- En motores o turbinas para generar electricidad.
- En pilas de combustible, previa realización de una limpieza de H₂S y otros contaminantes de las membranas.
- Purificarlo y añadir los aditivos necesarios para introducirlo en una red de transporte de gas natural.
- Uso como material base para la síntesis de productos de elevado valor añadido como es el metanol o el gas natural licuado.
- Combustible de automoción.

El biogás, además de metano tiene otra serie de compuestos que se comportan como impurezas: agua, sulfuro de hidrógeno, monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles como hidrocarburos halogenados, entre otros. Por tanto, es necesaria la limpieza del combustible, dependiendo del uso final. Una aplicación tipo de la digestión anaerobia es en las granjas de ganado bovino y porcino de gran tamaño o como planta comarcal de gestión de residuos en zonas de alta concentración de ganado estabulado, por el gran problema que generan los purines. En este caso se puede proponer y proyectar una planta de digestión anaerobia de producción de biogás como auto abastecimiento energético según las necesidades. [7]

2.1.5. Producción de biogás a nivel mundial

El digestor anaeróbico tiene sus raíces desde los 1770 cuando el científico italiano Alessandro Volta recolectó muestras de gas de pantano e investigó sobre sus propiedades combustibles.

A partir de esto la tecnología de los biodigestores fue usada en algunas parte del mundo, por ejemplo, Alemania montó su primera planta anaeróbica en 1906, y para 1997 tenía por encima de 400 plantas industriales; para el 2010 se espera una capacidad instalada de 5.300 a 6.300 MW. [8]

Dinamarca tiene cerca de 20 plantas centralizadas de biogás debido a una política impulsada por el gobierno. España espera tratar los 83,5 millones de toneladas de desecho anuales y convertirlos en 8000 millones de m³ de biogás/año, gracias al empuje del Ministerio de Ciencia e Innovación. Grandes promotores de dicha tecnología lo son también Suiza y Suecia. En China se estima que más de 20 millones de personas utilizan como fuente de energía renovable el Biogás. El uso potencial de esta tecnología se debe a que es un proceso tecnológico simple de usar, bajos requerimientos, utilizado para convertir materia orgánica en un vasto rango de tipos en metano. [8]

Teniendo un sinnúmero de ventajas que favorecen al ambiente, como son la reducción malos olores, patógenos y en algunos casos, gases de efecto invernadero. Finalmente la tecnología no afecta el contenido de nutrientes, lo que convierte el efluente en un excelente fertilizante para suelos.

Un detalle clave para sacar el máximo provecho a la tecnología de digestores anaeróbicos en fincas agropecuarias, es un adecuado dimensionamiento del biodigestor. Cada biodigestor debería ser dimensionado acorde a las características de cada finca, indiferente de su tamaño; la tecnología es apta para granjas de cualquier tamaño.

2.1.6. Producción porcina

2.1.6.1 Producción porcina en el Ecuador

El objetivo principal para la producción porcina es la obtención de proteína de origen animal de mejor calidad y en el menor tiempo posible. Para ello se trabaja con razas especializadas productoras de carne con bajo porcentaje en grasa, que en promedio alcanzan los 100 kg de peso vivo en 24 semanas desde su nacimiento [9]

En los últimos años la producción porcina en el Ecuador se ha desarrollado considerablemente; en el año 2010 la carne de cerdo se constituyó como la tercera fuente de proteína animal dentro de la alimentación de los ecuatorianos, tras la de pollo y res respectivamente. Según la encuesta nacional de granjas porcinas efectuado en el 2010, el incremento es notorio, ya que en el 2007 se producían 87.000 TM de carne de cerdo, mientras que la ESPAC en el 2011 reportó un aumento a 104.000 TM, evidenciándose un incremento del 20 % en esos cinco años [3].

Según el censo porcícola efectuado por el Magap, Agrocalidad y Aspe, existen 1.737 granjas porcinas registradas a nivel nacional con un total de 1'489 761 animales, mientras que, en el 2014 la Encuesta de superficie y producción agropecuaria (ESPAC) reporta un incremento cercano al 23 % con 1'934.162 cabezas de animales. Con respecto a la distribución de las granjas, el 41 % de ellas se sitúan en la sierra, el 38 % en la costa, el 18

% en el oriente y el 2 % en galápagos. De estas granjas, el 82 % son de ciclo completo, el 13% de ceba y el 5% de cría. Refiriéndose a granjas de cría a las destinadas a producir lechones (hasta 40 kg) para su venta, granjas de ceba las que engordan lechones de 2 meses (20 kg) hasta que alcancen los 100 kg aproximadamente y granjas de ciclo completo aquellas que realizan las actividades de producción de lechones y cerdos de engorde. [3]

Agrocalidad y Aspe (2013) mencionan que el desarrollo del sector porcino en el país se debe a factores como: el adelanto tecnológico en las instalaciones, mejoramiento genético, adecuado manejo y alimentación balanceada de los animales, así como, la aplicación de buenas prácticas de producción porcícola difundidas a los pequeños productores a través de programas del MAGAP. [3]

Se estima que el 90 % de la demanda nacional de carne porcina es abastecido por los grandes, medianos y pequeños productores, y el resto se importa mayoritariamente de Chile y Brasil, en especial subproductos para la elaboración de embutidos (grasa, cuero). En cuanto a las exportaciones, el Magap señala que Ecuador envía principalmente embutidos a Colombia y Estados Unidos. [3]

El incremento en la producción porcina también aumentó la generación de desechos; según el censo realizado por el Magap, apenas el 44% de los purines reciben tratamiento en lagunas de oxidación o con el empleo de biodigestores, mientras que el 56% se eliminan a ríos, quebradas y alcantarillado. [3]

Tabla 2. Eliminación de residuos porcinos por región

Región	Alcantarillado	Laguna de oxidación o biodigestores	Ríos / quebradas
Costa	41	283	333
Sierra	59	339	320
Oriente	6	145	171
Galápagos	0	4	36

Fuente: MAGAP
Elaborado: Autora

2.1.6.2 Sistemas de producción

La producción de cerdos es una actividad que puede resultar muy redituable si se tiene un buen plan de manejo que involucre aspectos de nutrición, sanidad, reproducción y genética. Cualquier explotación, extensiva o intensiva puede alcanzar el éxito si se considera un buen manejo sanitario y genético. [10]

- Sistema “todo dentro – todo fuera”; es de forma intensiva y consiste en llenar la nave con animales de la misma edad, en donde permanecen durante cinco meses y al final se venden todos al mismo tiempo.
- Sistema de “producción continua”; es de forma intensiva, se venden y se compran animales continuamente. Se requiere más infraestructura, ya que animales de diferentes edades requieren diferente manejo.

2.1.6.2.1. Sistema extensivo

La explotación extensiva se caracteriza por utilizar animales de biotipos ambientales, normalmente razas rústicas y autóctonas, con un limitado poder de transformación y bajos índices reproductivos. [11]

El porcino extensivo se explota en España, en el ecosistema denominado Dehesa. La explotación de cerdo en extensivo está íntimamente ligada a los productos y subproductos de la dehesa y se divide en cuatro fases, denominadas de cría, recría, premontanera y montanera o cebo.

- La cría se refiere al período de lactancia, que se extiende por un período de 56 días. Generalmente se realizan dos parideras por lote de cochinas, y los partos se realizan en naves de paridera con cubículos de mampostería o en el sistema camping. Los lechones a partir de los 21 días de vida y con un peso de unos 4-5 kg, comienzan a ser suplementados con cantidades crecientes de pienso de alto valor proteico.
- La recría es el período comprendido entre la cría y la premontanera.

- La premontanera tiene como objetivo fundamental llevar a los animales desde los 60 a los 100 kg, que se debe alcanzar antes del inicio de la montanera. Si no se dispone de rastrojo de cereales para su aprovechamiento, se puede confinar a los cerdos en cercados y administrarles una cantidad variable de pienso equilibrado entre 1,5 y 2 kg.
- La montanera se caracteriza por que el cerdo entra a esta etapa con 90-100 kg y sale tres meses después con 150-165 kg.

2.1.6.2.2. Sistema intensivo

Supone una forma de explotación altamente tecnificada dirigida a situar al cerdo en condiciones tales que permitan obtener de él altos rendimientos productivos en el menor tiempo posible. En porcino se realiza la explotación ultraintensiva, con animales en cubículos y ambiente totalmente controlado. [11]

Hay que tener en cuenta que se pueden dar diferentes subtipos dentro del sistema intensivo. Así podemos encontrar:

- Explotaciones de producción de lechones. Son destetados y se venden
- Explotaciones de producción de cerdos cebados. Compran lechones y los ceban con destino a matadero.
- Explotaciones de producción de reproductores. Son centros de selección de reproductores.
- Explotaciones de ciclo cerrado. Realizan todo el proceso en la misma explotación, desde el nacimiento, lactación, cría y cebo. Se reponen de reproductores con su propia producción, en ocasiones también se obtienen de centros de selección.

En la explotación porcina intensiva, el manejo por lotes es la opción más recomendable, dadas las ventajas que ofrece, entre las que se puede destacar:

- Posibilidad de realizar vacío sanitario en los locales en que puede aplicarse el sistema todo dentro- todo fuera.

- Manejo más racional del ganado, al coincidir para los animales de un lote casi todas las operaciones.
- Aumento de la eficiencia del trabajo del personal que cuida los animales.
- Mejor aprovechamiento de la inseminación artificial, al concentrarse las cubriciones.
- Mejores condiciones para la comercialización de lechones o de cerdos cebados, pues tendremos grupos suficientemente grandes de animales homogéneos con una periodicidad previamente establecida.

2.1.6.2.3. Sistema Semi-extensivo o Semi-intensivo

Este sistema es una mezcla entre los dos anteriores, se realiza planificación de cubriciones, parideras y destetes y el ganado mantiene una alimentación basada en recursos naturales y suplementación, mayor que la que se ofrece en el sistema extensivo. [11]

Las instalaciones suelen ser cabañas o casetas de campings. El cerdo está en un cercado relativamente grande en función del tamaño de cada grupo y cuenta con abrevaderos y comederos.

2.1.7. Digestión Anaerobia

2.1.7.1 Generalidades

La digestión anaeróbica es un proceso biológico complejo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un substrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno o sus precursores. [12].

Utilizando el proceso de digestión anaeróbica es posible convertir gran cantidad de residuos, residuos vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa, de la industria papelera y de algunas industrias químicas, en subproductos

útiles. En la digestión anaerobia más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aeróbico. [12].

En la digestión anaeróbica, los microorganismos metanogénicos desempeñan la función de enzimas respiratorios y, junto con las bacterias no metanogénicas, constituyen una cadena alimentaria que guarda relación con las cadenas enzimáticas de células aeróbicas. De esta forma, los residuos orgánicos se transforman completamente en biogás que abandona el sistema. Sin embargo, el biogás generado suele estar contaminado con diferentes componentes, que pueden complicar el manejo y aprovechamiento del mismo.

El proceso anaeróbico se clasifica como fermentación anaeróbica o respiración anaeróbica dependiendo del tipo de aceptores de electrones. [12]

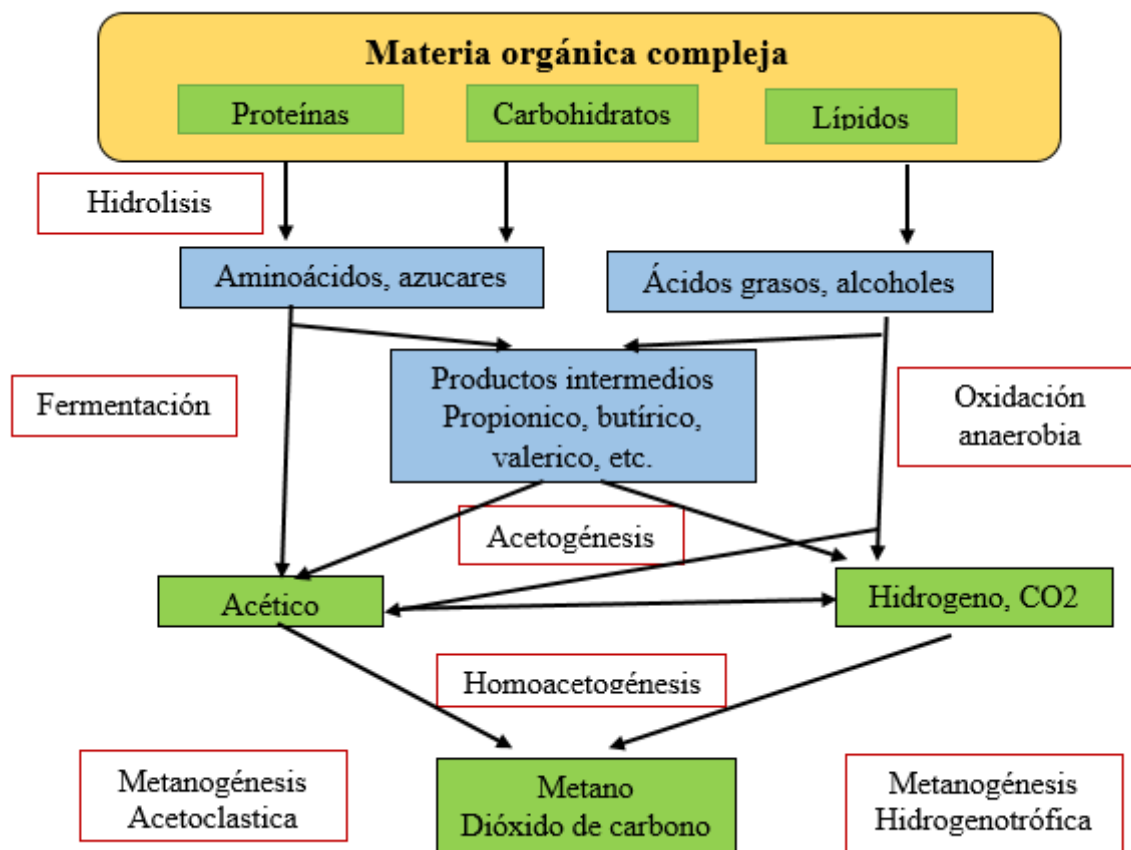


Ilustración 1. Etapas de la digestión anaerobia

Fuente: García K.
Elaborado: Autora

2.1.7.2 Degradación anaeróbica de la materia orgánica

El proceso de digestión anaerobia de residuales es simplemente una intensificación tecnológica de procesos que ocurren normalmente en la naturaleza. En estos sistemas donde las especies SO_4^{2-} , O_2 , o NO_3^- no se encuentran disponibles, actúa como aceptor de electrones un compuesto orgánico. [13].

A través de reacciones de oxidación – reducción, los electrones son transferidos de un compuesto reducido (donante de e^-) a otro más oxidado (aceptor de e^-). La energía liberada por la reacción es almacenada en las células bacterianas en forma de esteres de fosfato ricos en energía (ATP), los cuales son utilizados por las propias células para todas las reacciones que sustentan el crecimiento microbiano.

La digestión efectiva de la materia orgánica a metano requiere del metabolismo coordinado y combinado de diferentes grupos de microorganismos los cuales pueden ser diferenciados sobre la base de los sustratos que utilizan y los productos metabólicos finales formados [14]. El esquema biológico involucra reacciones de multi – organismos con multi – sustratos que se llevan a cabo en serie y en paralelo [15].

2.1.7.3 Etapas de la fermentación metanogénica

La digestión anaeróbica es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas.

De hecho, muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea.

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

1. Hidrólisis
2. Etapa fermentativa o acidogénica
3. Etapa acetogénica
4. Etapa metanogénica

La primera fase es la hidrólisis de partículas y moléculas complejas (proteínas, carbohidratos y lípidos) que son hidrolizadas por enzimas extracelulares producidas por los microorganismos acidogénicos o fermentativos. Como resultado se producen compuestos solubles más sencillos (aminoácidos, azúcares y ácidos grasos de cadena larga) que serán

metabolizados por las bacterias acidogénicas dando lugar, principalmente, a ácidos grasos de cadena corta, alcoholes, hidrógeno, dióxido de carbono y otros productos intermedios [16].

Los ácidos grasos de cadena corta son transformados en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono, mediante la acción de los microorganismos acetogénicos. Por último, los microorganismos metanogénicos producen metano a partir de ácido acético, H_2 y CO_2 .

2.1.7.3.1. Hidrólisis

Esta es la etapa donde las proteínas, carbohidratos y grasas son transformados en compuestos solubles por acción de bacterias proteolíticas, celulíticas y lipolíticas, respectivamente. Esta etapa es fundamental para suministrar los compuestos orgánicos necesarios para la estabilización anaeróbica en forma que pueden ser utilizados por las bacterias responsables de las dos etapas siguientes. [16]

2.1.7.3.2. Acidogénesis

Los compuestos solubles resultados de la primera etapa, son transformados por acción bacterial en ácidos orgánicos simples volátiles, acetatos, amoniacos, hidrógeno y bióxido de carbono. Esta etapa la pueden llevar a cabo bacterias anaeróbicas o facultativas. [16]

2.1.7.3.3. Acetogénesis

En esta etapa las bacterias acetogénicas interactúan con las Archaeas metanogénicas colaborando entre si, a fin de transformar los ácidos grasos resultantes en los sustratos propios de la metanogénesis. [16]

2.1.7.3.4. Metanogénesis

Finalmente mediante la acción de las bacterias metanogénicas, el hidrogeno y parte de los acetatos, son transformados en metano y bióxido de carbono. El amoniaco se estabiliza en forma de sales de amonio, permaneciendo en esta forma todo el contenido original de

nitrógeno de la materia orgánica, que está sometido al proceso de biodegradación anaeróbica. El metabolismo de estas bacterias es más lento, y son más sensibles a distintas condiciones ambientales. [16].

2.1.7.4 Microorganismos anaeróbicos

Las especies de microorganismos involucrados en el proceso varían dependiendo de los materiales que serán degradados. Los alcoholes, ácidos grasos, y los enlaces aromáticos pueden ser degradados por la respiración anaeróbica de los microorganismos.

Estos utilizan, entre otros nutrientes, el nitrato, azufre, sulfato, carbonato como aceptores de electrones, por lo que pueden denominarse reductores de nitrato, reductores de sulfato, etc. Sin embargo otros microorganismos también compiten por el nitrato como aceptor de electrones, por lo que el nitrato se reduce rápidamente a amonio y el nitrato como reductor juega un papel secundario en los procesos de fermentación. [17]

Los reductores de sulfato participan activamente en la degradación de compuestos con poco oxígeno, tales como lactato y etanol. En la primera y segunda fase de la degradación, participan bacterias de al menos 128 órdenes de 58 especies y 18 géneros. Las especies que se presentan principalmente son *Clostridium*, *Ruminococcus*, *Eubacterium* y *Bacteroides* [17].

En la tercera y cuarta fase de la degradación, se encuentran principalmente bacterias metanogénicas. En la actualidad, se han identificado 81 especies, de 23 géneros, 10 familias y 4 órdenes. Además, existen diversos microorganismos que pertenecen al sistema ecológico de un biorreactor y que participan indirectamente en la degradación. Por ejemplo, *Staphylococcus*, especie que se desarrolla con frecuencia en los digestores, puede provocar riesgos para la salud del personal que opera el digestor si no se toman las medidas sanitarias necesarias [17]

Tabla 3. Bacterias que intervienen en la fermentación durante las 4 fases

Taxonomía	Especies	Descripción	Metabolismo
Género: <i>Acetobacterium</i>	<i>A. woodii</i>	El género <i>Acetobacter</i> comprenden un grupo de bacilos Gram negativos, móviles que realizan una oxidación incompleta de alcoholes, produciendo una acumulación de ácidos orgánicos como productos finales.	Reducen autotróficamente Compuestos poliméricos, oligómeros, monómeros y CO ₂ , utilizando el hidrógeno como fuente de electrones. Estos microorganismos hacen posible la descomposición de los ácidos grasos y compuestos aromáticos.
	<i>A. paludosum</i>		
Género: <i>Eubacterium</i>	<i>E. rectale</i>	El género <i>Eubacterium</i> consiste en un grupo de bacterias anaeróbicas obligadas Gram – positivas.	La mayoría de las <i>Eubacteria</i> sacarolíticas producen butirato como el principal producto de su metabolismo.
	<i>E. siraeum</i>		
	<i>E. plautii</i>		Muchas especies son capaces de descomponer sustratos complejos a través de mecanismos especiales.
	<i>E. cylindroides</i>		
	<i>E. brachy</i>		Algunas especies se desarrollan autotróficamente, por lo tanto son capaces de cumplir funciones específicas en la descomposición anaeróbica.
	<i>E. desmolans</i>		
	<i>E. callandrei</i>		
	<i>E. limosum</i>		

Fuente: Insam H, Franke-Wittle

Elaborado: Autora

2.1.7.5 Factores físicos y químicos que afectan la anaerobiosis

Existen diversos factores que determinan una mayor o menor producción de biogás; entre los principales están la materia prima, temperatura, pH, relación C/N y microorganismos involucrados en el proceso de fermentación.

2.1.7.6 Composición del sustrato

Se puede hacer un estimado de la producción de biogás y consecuentemente de la biodegradación de la materia orgánica a partir de la sustancia que conforma un residual. Esta estimación se hace de acuerdo a la fórmula del compuesto y a la estequiometría correspondiente a la producción del CH₄, asumiendo que el tiempo de biodegradación es infinito y no existen inhibiciones.

2.1.7.7 Relación C: N: P (Balance De Nutrientes)

En la digestión anaerobia se necesita toda una serie de nutrientes para convertir el carbono a gas. El balance de nutrientes se estima, generalmente, por la relación C: N: P expresándose esta en la práctica, como Demanda Química de Oxígeno (DQO): N: P o Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): N: P, siendo la más utilizada la primera expresión. [13]

El valor óptimo para este parámetro es 100:5:1 para procesos aerobios sin embargo, para los procesos anaerobios se requiere de menor cantidad de nutrientes, ya que los requerimientos para el metabolismo anaerobios son menores. Es por eso que en este caso una relación más apropiada es de 350:5:1 para residuos de origen carbohidratos y para ácidos grasos de 100:5:1 valores entre los que se acostumbra operar en los procesos anaerobios. Estos valores se justifican por que en el caso del crecimiento bacteriano en desechos conteniendo grandes cantidades de carbohidratos es muy superior a los que ocurren en residuos que contienen proteína y AGV y por lo tanto, las necesidades de nitrógeno para el primer caso son superiores. [13]

Tabla 4. Cantidad de excreta fresca y producción de biogás

Categoría animal	Cantidad excretas por día (Kg)	Rendimiento de biogás (m ³ /Kg de excretas)	Producción de biogás (m ³ /animal.d)
Vacuno:			
Grande	15	0,04	0,60
Mediano	10	0,04	0,40
Pequeño	8	0,04	0,32
Ternero	4	0,04	0,16
Búfalo:			
Grande	20	0,04	0,80
Mediano	15	0,04	0,60
Pequeño	10	0,04	0,40
Ternero	5	0,04	0,20
Cerdo:			
Grande	2,0	0,07	0,14
Mediano	1,5	0,07	0,10
Pequeño	1,0	0,07	0,07
Avícola:			
Grande	0,15	0,06	0,009
Mediano	0,10	0,06	0,006
Pequeño	0,05	0,06	0,003
Ovino:			
Grande	5,0	0,05	0,25
Mediano	2,0	0,05	0,10
Pequeño	1,0	0,05	0,05
Pato	0,15	0,05	0,08
Paloma	0,05	0,05	0,03
Caballo	15,00	0,04	0,60
Camello	20,00	0,03	0,60
Elefante	40,00	0,02	0,80

Excreta humana:			
Adulto	0,40	0,07	0,028
Niño	0,20	0,07	0,014

Fuente: Montalvo S, Guerrero L

Elaborado: Autora

Aunque el nitrógeno se conserva durante la digestión anaerobia debido a que su asimilación es despreciable (bajo crecimiento celular), la mayoría del nitrógeno orgánico pasa a nitrógeno amoniacal lo cual contribuye entre otras cosas, a mantener o aumentar la alcalinidad en el proceso.

Es importante señalar que si el nitrógeno está en exceso puede producirse mucho amoníaco. Lo cual puede inhibir el proceso anaerobio por encima de ciertos niveles. Los efectos inhibitorios del amonio hasta ahora conocidos, influye en la fase metanogena, aunque otras reacciones secuenciales, como los que interviene las bacterias acetógenas productoras obligadas de hidrógeno estarán, directa o indirectamente afectadas. [18]

2.1.7.8 pH, AGV y alcalinidad

Estos tres parámetros, en la práctica, son fuertemente dependientes el uno de los otros, por lo que para su estudio resulta conveniente tratarlos en conjunto.

Los efectos del pH afectan el comportamiento del proceso de diversas formas, destacándose los siguientes:

- Cambio de los grupos hidrolizables de las enzimas (grupos carboxilos y aniónicos)
- Alteración de los componentes no enzimáticos del sistema (ionización del sustrato, desnaturalización de la estructura proteica de la enzima)
- Afectación del nivel de toxicidad de diferentes compuestos.

Se plantea en general que el rango óptimo de pH para la digestión anaerobia es de 6.8 a 7.2 y el valor óptimo 7, aunque las metanobacterias crecen bien entre pH 6.6 y 7.4. En la práctica se ha visto que al alejarse de este valor, la eficiencia del proceso disminuye,

aunque se ha comprobado que para valores inferiores a 7, el proceso no se inhibe hasta cierto valor articular. El pH óptimo dependerá no solo del tipo de microorganismo que esté presente en el residuo, sino también del sustrato mayoritario en el medio. [19]

El pH óptimo de la mayoría de las bacterias hidrolíticas es de 7.2 – 7.4, mientras que el de las bacterias acetogénicas es de 6.6. Las bacterias acidógenas son menos sensibles a la variación del pH que las metanógenas, manteniéndose bien activas a pH tan bajos como 4.5; de esta forma puede ocurrir la inhibición de las bacterias metanógenas y acidificarse el reactor. Estas bacterias crecen óptimamente en el rango de pH de 5 a 6. [19]

Tabla 5. Rango óptimo de pH para la degradación de diferentes sustratos

Sustrato	pH optimo
Formiato	6.8 – 7.3
Acetato	6.5 – 7.1
Propionato	7.2 – 7.5

Fuente: Manual del Biogas
Elaborado: Autora

Los AGV son los precursores principales para la producción de metano en la anaerobiosis. Muchos especialistas consideran que la concentración de AGV en un digestor no debe sobrepasar los 2Kg/m^3 . Aunque en algunos casos puede llegar hasta 3Kg/m^3 , se plantea, generalmente, que a una concentración de 0.3 Kg/m^3 en el digestor puede considerarse óptima. Sin embargo, es un hecho comprobado que la concentración inhibitoria de la digestión depende en gran medida del tipo de ácido presente en ella. [13]

Por otro lado, la alcalinidad (Alc) es una expresión de la concentración de sales y expresa en unidades de concentración de carbonato de calcio, aunque en ella contribuyan también los acetatos, bicarbonatos, formatos, etcétera, de calcio, amonio y otros. El valor de la alcalinidad en un digestor de forma general debe estaré cercano a los 2 Kg/m^3 , aunque esto no debe tomarse como un valor constante. [13]

2.1.7.9 Temperatura

El proceso de digestión anaerobia puede realizarse a tres rangos diferentes de temperatura: Psicrófilo: por debajo de 20°C; mesófilo, entre 30° y 40 °C; termófilo, entre 50° y 70°C. Con el aumento en el rango de temperaturas se aumenta la velocidad de crecimiento de las bacterias, la velocidad en la producción de biogás y una disminución de tiempos de retención. [20]

Trabajando en el rango termofílico se asegura, además, la destrucción de patógenos, la eliminación de semillas de malas hierbas, de huevos y de larvas de insectos. A pesar de las grandes ventajas de los sistemas termofílicos, estos requieren de mayor control y seguimiento, debido al efecto inhibitorio de algunos compuestos a alta temperatura.

2.1.7.10 Oxígeno y potencial redox

Aun cuando se conoce que la presencia de O₂ en reactores anaerobios es fatal para los microorganismos anaerobios, no se sabe con exactitud el porqué de este efecto, no obstante, se han planteado dos hipótesis fundamentales:

- Al combinarse el O₂ con el agua se produce peróxido de hidrogeno (H₂O₂). Como se sabe el peróxido de hidrogeno es extremadamente toxico para los microorganismos, sin embargo, las bacterias aeróbicas y facultativas poseen la enzima catalasa que destruye el peróxido con la regeneración de O₂ y c H₂O, sin perjuicio para las bacterias.
- El O₂, actúa directamente sobre el complejo enzimático de los microorganismos anaerobios con su consecuente destrucción.
- Actualmente no existe tampoco una conclusión categórica acerca de que es lo letal para los microorganismos anaerobios, si la presencia de O₂ o un elevado potencial de oxidación – reducción (redox).

Algunos metanogenos muestran cierta tolerancia a la exposición al O₂. Se han logrado puesta en marcha satisfactoria de reactores UASB utilizando como inculo lodos

activados. Metanogenos presentes en lodos granulares han mostrado elevada tolerancia a la exposición de O_2 . La tasa de respiración de las bacterias facultativas presentes en los gránulos constituye el elemento que más contribuye a la tolerancia de O_2 , ya que esta presencia correlaciona muy bien con la tolerancia del lodo. [21]

2.1.7.11 Mezclado y formación de espuma

El mezclado, o más bien el aumento del área de contacto entre los microorganismos y el sustrato, acelera el proceso al favorecerse la transferencia de materia orgánica desde el residuo hacia los microorganismos.

Para efectuar el mezclado se pueden aplicar diferentes métodos, siendo los más usuales los siguientes: agitación mecánica, recirculación de gas y recirculación del lodo digerido.

La agitación mecánica se efectúa a muy bajas revoluciones por minuto (r/min). La recirculación del gas puede efectuarse de cuatro formas:

- Diseñando el tanque reactor de una forma tal que, al generarse el biogás y subir a la parte superior de este se produzca una buena turbulencia a lo largo de todo el reactor. Esto se logra mediante una adecuada relación altura–diámetro del reactor. Velocidades ascensionales de gas de 1M/H provocan un buen mezclado en el reactor
- Utilizando determinado volumen de gas en relación con el diámetro del tanque.
- Empleando un sistema que cumpla con el principio “airlift”. El gas comprimido se desprende en el centro del digestor a través de varias tuberías de gas situadas en determinados puntos del reactor.
- Utilizando el sistema “Pearth”, que consiste en inyectar el gas recirculante por varios puntos del digestor.

El mezclado mediante recirculación del lodo digerido en un digestor de lodos se emplea mucho en la práctica, ya que esto no solo aumenta el contacto microorganismo – sustrato sino que permite introducir en el reactor microorganismos anaerobios activos,

lo que hace aumentar la masa de estos en el proceso. Se ha comprobado que a pesar de que el mezclado produce mejoras en el proceso de digestión, su uso inadecuado puede causar problemas en la operación. [13]

2.1.7.12 Reactores anaerobios

2.1.7.12.1. Inoculo

El primer factor importante a tener en consideración es la inoculación del reactor, vale decir, la introducción de microorganismos, en cantidad y calidad, que garanticen el arranque del proceso.

En cuanto a calidad u origen del inoculo se refiere, pueden mencionarse las fuentes siguientes:

- Lodo anaerobio procedente de un reactor que esté operando con el mismo residuo que se vaya a tratar.
- Lodos anaerobios procedentes de distintos reactores operando con diversos residuos (mezcla de lodos)
- Lodos anaerobios procedentes de un reactor que esté operando con sustratos complejos
- Lodos anaerobios procedentes de reactores anaerobios en general
- Residuos vacunos crudos
- Lodos procedentes del fondo de lagunas de oxidación, lagos o ríos
- Lodos procedentes de las zanjas o canales de desagüe (cuando estos sean abiertos) de conducción de las aguas residuales que se vayan a tratar.

En ocasiones se mezclan lodos de diferentes procedencias para potenciar la efectividad del inoculo, lo que permite contar con un número mayor de especies bacterianas adaptadas a diversos sustratos. Esta práctica es mucho más ventajosa cuando se tratan residuos de difícil biodegradación o que contienen compuestos con algún nivel de toxicidad.

La producción del inóculo usando agua residual sintética, la cual puede ser fácilmente metabolizable, no es económica y pudiera utilizarse, solamente, para aplicaciones especiales como es el caso de los residuos de carácter xenobiotico. Recientemente se ha comenzado a brindar comercialmente algunos inóculos, pero aun su efectividad es dudosa.

El volumen de inóculo a utilizar no debe ser menos de un 10% con relación al volumen efectivo de trabajo en el reactor. Si el inóculo no contiene compuestos inhibitorios, puede aumentarse la cantidad de inóculo hasta un 30 – 50%, acelerándose más aun, el proceso de puesta en marcha. [13].

2.1.7.12.2. Minidigestores

Estos digestores son utilizados, fundamentalmente, para obtener biogás a partir de residuos domésticos y/o residuos agropecuarios [22]. En el primer caso sirven a una familia, o a pocas personas si son varias familias, y en el caso, a pequeñas instalaciones pecuarias. En general estos consisten en fosas o pequeños tanques que funcionan, casi siempre, en forma semicontinua y pueden ser operados por cualquier miembro de la familia o de la instalación pecuaria, debido a su sencillez constructiva y operacional. Están enterrados en la tierra por lo que pueden cargarse por gravedad, manualmente y sin necesidad de equipo de bombeo.

En general no son altamente eficientes desde el punto de vista de la biodegradación de los residuos y además necesitan elevados θ para lograr un buen comportamiento del proceso. Los minidigestores más utilizados a nivel mundial son los de tipo hindú o los tipo chino, existiendo cientos de miles y millones, respectivamente.

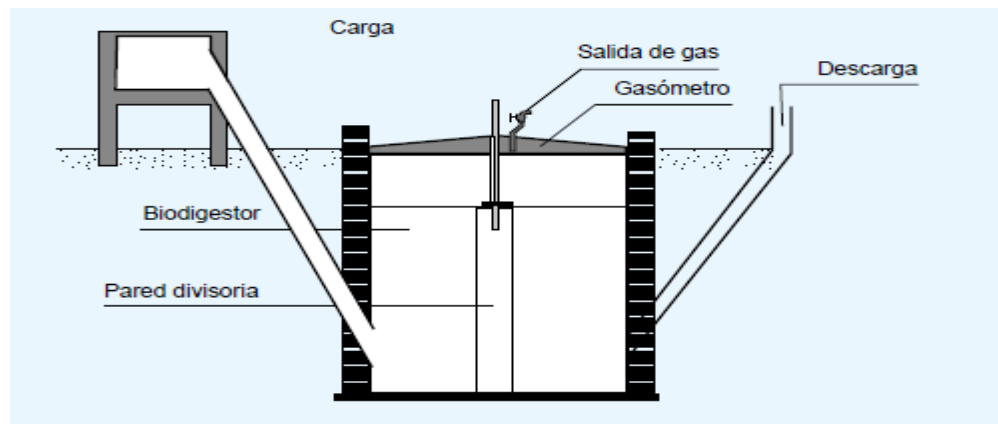
Los minidigestores operan bajo principio hidrostático de que la entrada de la carga diaria de residual al digestor por gravedad hasta el fondo del tanque, además de producir agitación, provoca la salida de un volumen equivalente de lodos digeridos. [22]

2.1.7.12.3. Biodigestor tipo hindú

Estos digestores en general son enterrados y verticales, semejando a un pozo. Se cargan por gravedad una vez al día, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se mantienen las condiciones de operación [16]

El gasómetro está integrado al sistema, o sea que, en la parte superior del pozo flota una campana donde se almacena el gas. De esta forma, la presión del gas sobre la superficie de la mezcla es muy baja, de alrededor de 30 cm de columna de agua. Con esta campana se logra, además, una presión constante, lo que permite una operación eficiente de los equipos a los que alimenta. La campana también ayuda al rompimiento de la espuma que se forma en muchos biodigestores. [16]

Ilustración 2. Biodigestor tipo hindú



Fuente: Manual del Biogas
Elaborado: Autora

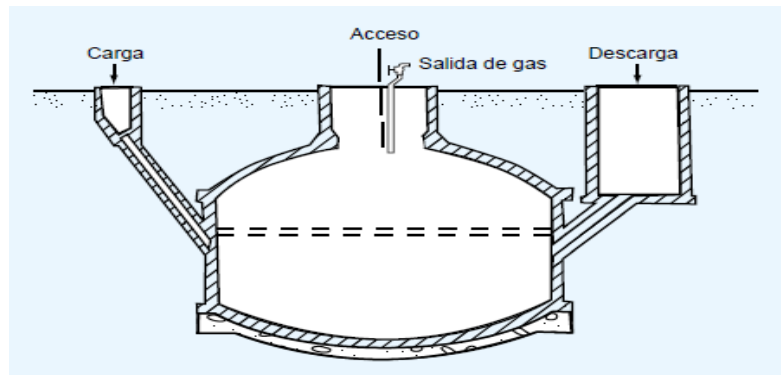
2.1.7.12.4. Biodigestor tipo chino

Los digestores de este tipo son tanques cilíndricos con el techo y el piso en forma de domo y se construyen totalmente enterrados [16].

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

Ilustración 3.
Chino

Biodigestor tipo



Fuente: Manual del Biogas
Elaborado: Autora

En este tipo de digestores no existe gasómetro, almacenándose el biogás dentro del sistema. A medida que aumenta el volumen del gas almacenado en el domo del digestor, aumenta su presión forzando al líquido, en los tubos de entrada y salida a subir y llegándose a alcanzar presiones de hasta 100 cm de columna de agua. Se generan entre 0.15 y 0.20 volúmenes de gas por volumen de digestor/día. Como consecuencia de la variación de presión, la que aumenta al generarse el gas y disminuye al consumirse éste, se reduce la eficiencia en los equipos consumidores. [16].

Periódicamente se extrae una parte del líquido en fermentación a través del tubo de salida, mediante una cubeta y una o dos veces al año el digestor se vacía completamente aplicando el residuo (sólido) a los campos de cultivo. A pesar que el digestor chino es poco eficiente para generar biogás, es excelente en la producción de bioabono, ya que los tiempos de retención son en general largos y además se tiene gran cantidad de este material cuando se

necesita para mezclar con el suelo antes de la siembra. Los tiempos de retención de operación para los biodigestores tipo chino son de 30 a 60 días, requiriéndose para alcanzar la misma eficiencia (máximo 50% de reducción de la materia orgánica) de 1/2 a 1/3 de este tiempo de retención en los biodigestores tipo hindú. [16].

2.1.7.13 Digestores convencionales

Se aplican, fundamentalmente, a la digestión de lodos. Pueden ser de baja o de alta carga. Algunos autores denominan el de baja carga como convencional y no consideran al de alta carga como una variante del convencional, pero teniendo en cuenta que en cuanto a configuración, estos son prácticamente lo mismo, es más adecuado considerar el de alta carga también como convencional. En estos sistemas la anaerobiosis se puede efectuar en una o dos etapas. En el proceso de una sola etapa las funciones de digestión, espesamiento de lodos y formación de líquido sobrenadante se pueden llevar a cabo simultáneamente. [13]

2.1.7.13.1. De una etapa

Operacionalmente, en un proceso de una sola etapa, el lodo crudo se añade en la zona donde esté esta biodegradándose activamente y produciéndose biogás. Cuando este sube a la superficie arrastra partículas de lodos, grasas, aceites, etcétera que contribuyen significativamente a la formación de una capa de espuma.

Como resultado de la digestión el lodo se mineraliza más y se espesa, debido a la gravedad, formándose una capa de sobrenadantes encima de la capa donde se están dirigiendo los lodos; de esta misma forma se produce debajo de esta última, una zona de lodos digeridos. Debido a esta estratificación y la ausencia de contacto íntimo microorganismo-sustrato, el volumen del biodigestor se utiliza realmente en no más de 50% de forma efectiva. [23]

2.1.7.13.2. De doble etapa

En este proceso, el tanque se utiliza para la digestión, el cual puede tener calentamiento o no y equipado con medios para efectuar un mezclado adecuado dentro del tanque. El segundo tanque se usa para almacenar y concentrar los lodos digeridos y para la formación de un sobrenadante relativamente claro. Frecuentemente, los tanques son idénticos y se escoge uno como primario. En otros casos, el segundo tanque puede ser abierto, sin calentamiento, o una laguna para lodos. Los tanques deben tener una pendiente, que posibilite el arrastre de los lodos hacia el centro, con un valor mínimo de 1:4 (longitud vertical, longitud horizontal).

El digestor o sistema convencional de alta carga difiere del de baja carga en que la que se aplica es mucho mayor, ya que en este caso se opera con 2-6Kg SV/m³.d. Este sistema se aplica, principalmente a lodos o aguas residuales concentradas. Los de trabajo son de 10 a 30 d. [23]

2.1.8. Otros tipos de biodigestores.

Dentro de este grupo se puede incluir la tecnología de Puxin Biogás, desarrollada por la empresa china Shenzhen Puxin Science & Technology Co, quienes disponen de moldes de construcción de biodigestores de 10 m³ de capacidad, de hormigón armado y ubicado en el subsuelo. Este biorreactor incluye un medio de almacenamiento de biogás. [16]

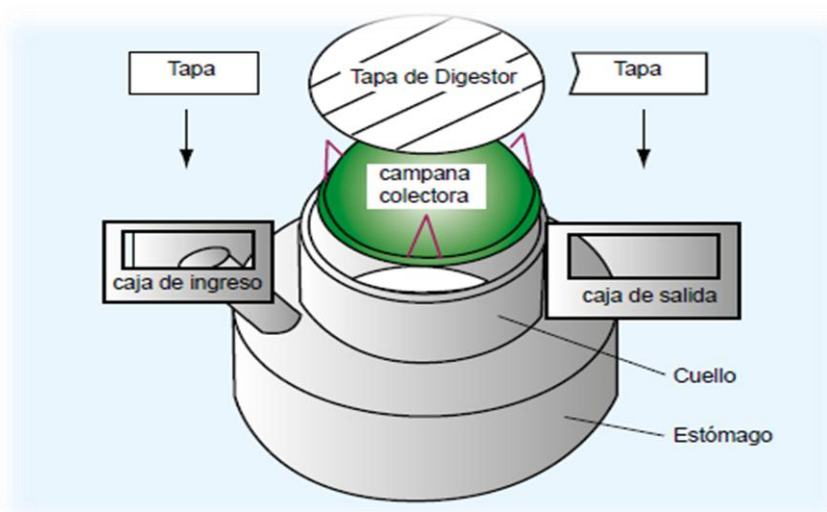
Este biodigestor construido posee las siguientes características básicas:

- Es del tipo chino.
- Su construcción es estandarizada e industrializada (no artesanal).
- Régimen semi-continuo con cargas y descargas diarias.
- Su ubicación es bajo tierra.
- Es de hormigón, con una vida útil mínima de 15 años.
- Sus componentes principales son: un reactor de concreto y un contenedor de gas.

- El reactor tiene capacidad de 10 metros cúbicos y se compone de tres partes: estómago, cuello y una cámara de ingreso y salida de material orgánico.
- La construcción del bioreactor se realiza mediante el uso de molde de acero de 112 piezas.
- El contenedor de gas es de fibra de vidrio reforzado con plástico. tiene 1,6 m de diámetro, y 1 metro cúbico de capacidad.
- El contenedor de gas está fijado al cuello del digestor;
- El contenedor de gas y las cámaras del reactor tienen sellos de agua.
- El bioreactor es del tipo hidráulico.
- Las paredes de hormigón del biodigestor tendrán 10 cm de grosor.

Las partes que conforman un biodigestor Puxin se detallan en la siguiente figura:

Ilustración 4. Componentes de un digestor puxin de 10m³



Fuente: Manual del Biogas
Elaborado: Autora

2.2. Marco Referencial

Edwin Toala (2013), en su tesis titulada “Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir del estiércol de ganado en el rancho verónica.” aplica el método cuantitativo para la determinación de los componentes principales del biodigestor. Las muestras recogidas se la realizaron a través del muestreo aleatorio simple, donde se recogió 2 muestras representativas de estiércol fresco, estas muestras se trasladarán al laboratorio para realizar los análisis del mismo, a través de los parámetros físicos, químicos, y bacteriológicos. Se muestran los resultados de la construcción del biodigestor a escala piloto, lo cual, a través de la práctica permitió validar la investigación y garantizar la producción de biogás y biofertilizante, estableciendo el tiempo de retención para la degradación biológica de 40 días, a una temperatura promedio de 26°C y relación 1:1 de estiércol fresco-agua, estos valores son específicos para la generación de los productos de la biodigestión en la zona.

Verónica Bautista Guerra (2016), tesis titulada, “Evaluación de la generación de biogás a partir de excretas porcinas en la granja Agroinporc y diseño de un biodigestor” Los análisis físicos químicos reportaron valores de pH y contenido de materia orgánica de 7,58 y 60,95 % p/p respectivamente, estos valores fueron característicos de las excretas porcinas. El efecto de la temperatura en la producción de biogás para los dos tratamientos influyó significativamente, dado que a temperatura controlada (35 °C) se obtuvo 9560 mL de biogás y a temperatura ambiental (t media 26°C) 5 840 mL durante 30 días de fermentación.

Silva María del Rosario (2013), tesis titulada “Diseño, construcción e implantación de un biodigestor anaerobio, para la obtención de gas metano y biol a partir de cascara de naranja en la empresa Ecopacific, Se utilizó como sustrato cascara de naranja y como inóculo bacteriano heces de porcino, para la obtención de gas metano y biol mediante digestión anaerobia, durante la operación se consideró dos tipos de descarga uno de régimen continuo y otro de régimen semicontinuo.

CAPÍTULO 3
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización

La granja porcina “Galo Porcino” se localiza en el cantón Echeandia, provincia de Bolívar, el cual posee un clima subtropical y templado, con temperaturas que oscilan entre los 18 y 32°C; su altitud está entre 370 msnm y 830 msnm. [24]

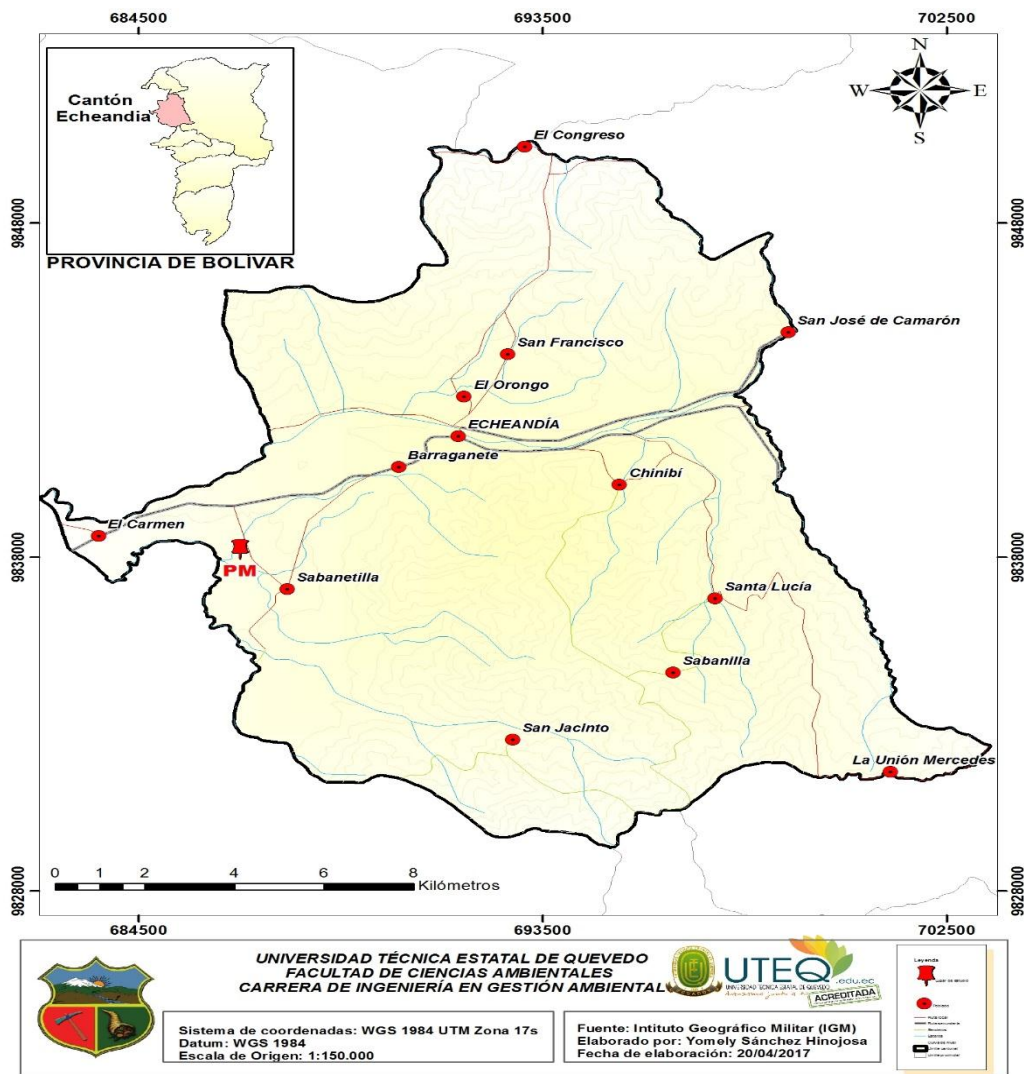


Ilustración 5. Área de estudio, granja porcina

Fuente: GADME

Elaboración: Autora

Tabla 6. Coordenadas de la granja Galo Porcino

Coordenadas UTM	
X	Y
0686746	9838213

Fuente: GPS

Elaboración: Autora

3.2. Tipo de Investigación

- Diagnóstica

Se hizo una estimación de la producción actual de estiércol porcino en la granja para determinar la tasa de generación diaria de residuos.

- Exploratoria

El ensayo del proceso de biodigestion con un reactor experimental permitió hacer el primer acercamiento a la tecnología de tratamiento de residuos de la granja porcina mediante reactores anaerobios.

3.3. Métodos de investigación

- Método Observación y registro de información: Se llevó un registro relativo a la cantidad en peso de residuos generados en la granja mediante un formato que se lo lleno diariamente durante un mes.
- Experimental: Se diseñó un biodigestor anaerobio a escala piloto para el tratamiento de los residuos porcinos de la granja porcina “Galo Porcino”
- Inductivo: Los resultados del ensayo de la biodigestion en el reactor anaerobio experimental proporcionó información, y mediante tal tecnología diseñar un sistema

de tratamiento completo de los residuos de animales generados en la granja porcina “Galo Porcino”.

3.4. Fuentes de recopilación de información.

- Fuentes primarias.- Análisis de laboratorios de parámetros fisicoquímicos tales como, temperatura, pH, Sólidos Totales y Sólidos Volátiles Totales.
- Fuentes secundarias. Artículos científicos, Documentos online, Revistas científicas.

3.5. Diseño de la Investigación

3.5.1. Caracterizar la generación de residuos en la granja porcina “Galo Porcino”

Se aplicó el método de observación directa, el registro documental y fotográfico de información relativa a la generación de residuos en la granja porcina objeto de estudio. El registro de generación de los desechos se lo llevó en un formato que se elaboró para cuantificar diariamente y durante un mes las cantidades (en peso) de las diferentes fracciones de residuos en la granja.

El peso diario de las excretas se lo registró de acuerdo al siguiente formato:

Tabla 7. Generación de estiércol diario por porcino.

Semanas	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Suma Total
1								
2								
3								
4								

Fuente: Granja Galo Porcino

Elaboración: Autora

3.5.2. Ensayar la biodigestión de las deyecciones porcinas de la granja

El ensayo de la digestión anaeróbica de las deyecciones de la granja porcina se realizó en un biodigestor experimental de pequeña escala, de acuerdo al siguiente esquema se explica el proceso para el sistema de la biodigestión:

3.5.2.1 Construcción del Biodigestor

- Adaptación de un tanque de metal con una capacidad de 200 litros.
- Instalación de dos llaves de paso al tanque de metal
- Instalación de un termómetro de aguja para gas
- Colocación de una manivela con aspas, introducida en la tapa del tanque

3.5.2.2 Mecanismo de Biodigestión

3.5.2.2.1. Recolección del estiércol porcino

Las deyecciones porcinas fueron recoladas en baldes, pesado respectivamente y colocado en el biodigestor, más una cantidad de agua residual que se extrajo de la piscina de oxidación a cielo abierto lugar donde se disponen finalmente los residuos generados, el biodigestor estuvo distribuido de tal manera que el 75% del tanque será ocupado por el contenido de estiércol mientras que el 25% restante, será destinado para la producción de biogás.

Este peso será registrado mediante el siguiente formato:

Tabla 8. Registro de material a ingresar en el biodigestor	
Estiércol (kg)	Agua Residual (l)

Elaboración: Autora

Una vez operando el biodigestor a escala piloto se tomó en consideración aplicar cálculos matemáticos para determinar el volumen y la densidad del estiércol, y así mismo determinar la cantidad de sustrato que ingreso al sistema.

A continuación se indican las ecuaciones aplicar para cada uno de los cálculos:

3.5.2.2.2. Determinación de la densidad del estiércol

Para el cálculo de la densidad del estiércol, se realizó una práctica para determinar el volumen que contiene una porción de estiércol. Para calcular el volumen del estiércol contenido en el tanque se aplica la siguiente formula.

$$V = \pi r^2 h$$

Dónde:

π = valor de Pi.

r = radio del cilindro.

h =altura que alcanza el estiércol en el tanque.

Luego del volumen obtenido, se procede al cálculo de la densidad mediante la fórmula.

$$\rho = \frac{M}{V}$$

ρ = densidad.

M = masa del estiércol.

V = volumen.

3.5.2.2.3. Determinación de la cantidad del sustrato.

Se toma en cuenta que el 75% de capacidad del tanque corresponderá al sustrato, y el 25% restante al biogás, de igual manera se toma en consideración la capacidad del tanque, aplicando la siguiente ecuación.

$$Vs = Cc * 0,75$$

Donde:

Vs= volumen del sustrato.

Cc= capacidad del tanque.

Una vez realizado los cálculos de la caracterización del estiércol y construido el biodigestor a escala piloto, empieza el proceso de la digestión anaeróbica, se hace un monitoreo constante del proceso para establecer el número de días utilizados en la degradación y producción de biogás.

3.5.2.2.4. Monitoreo de parámetros fisicoquímicos

Una vez operando el biodigestor se tomaron muestras del biol, para la realización de análisis físicoquímico, tales como temperatura estos se los medirá diariamente, y otros como pH, sólidos totales y sólidos volátiles totales semanalmente.

A continuación se muestra el formato que indica los resultados de los parámetros físico-químicos.

Tabla 9. Parámetros químicos

Parámetros	Excreta de cerdo	
	Muestra 1	Muestra 2
pH		
Solidos Totales		
Solidos Volátiles Totales		

Fuente: Laboratorio de Agua y Suelo de la UTEQ

Elaboración: Autora

El registro de temperatura diaria durante la fase experimental se lo detallará en la siguiente tabla:

Tabla 10.Registro diario de temperatura

Días	Horas		
	7am	12pm	5pm

Fuente: Autora

3.5.3. Proponer un diseño de sistema de biodigestión para el tratamiento del total de las deyecciones de la granja porcina “Galo Porcino”

Con base en los resultados del ensayo con el biodigestor experimental, se propuso el diseño de un digestor anaerobio que permitió aprovechar el total de las deyecciones generadas diariamente en la granja porcina. Para esto, el diseño abarcó cálculos matemáticos que se muestran a continuación:

3.5.3.1 Cálculos del Diseño

3.5.3.1.1. Cálculo de la generación de estiércol diario de la granja

Para realizar el cálculo de la generación de estiércol que se produce diariamente en toda la granja, se toma en cuenta el número de animales, adicionalmente se toma el valor promedio de generación de estiércol por cerdo/día, y se procede a efectuar la operación.

$$ET_g = EP_c * \#C_g$$

ET_g = Cantidad total de estiércol generado en la granja en un día.

EP_c = Cantidad promedio de estiércol generada por un cerdo al día.

#C_g = número de cerdos disponible en la granja.

3.5.3.1.2. Cálculo de la generación de estiércol diario del cubículo

Para realizar el cálculo de la generación de estiércol que se produce diariamente en la granja, se toma en cuenta el número de cerdos, adicionalmente se toma el valor promedio de generación de estiércol por cerdo/día y se procede a efectuar la operación.

$$Et_c = EP_c * \#C_g$$

Dónde:

ETc = Cantidad total de estiércol generado en un cubículo en un día.

EPc = cantidad promedio de estiércol generada por un cerdo al día.

#Vc = número de animal disponible en la granja.

3.5.3.1.3. Volumen disponible de estiércol

El volumen disponible de estiércol hace referencia a la cantidad de excremento que está en condiciones de ser usada en su totalidad, a su vez se encuentre puro y sin residuos de tierra u otro material no degradable, de esta manera el volumen del estiércol usado es aquel producido por el número de cerdos que se encuentran en el cubículo, se toma el valor promedio de generación de estiércol por cerdo/día adicionalmente se usa el valor de la densidad del estiércol para transformar el peso en volumen.

$$V_{EF} = \frac{ET_c}{D}$$

Dónde:

VEF = volumen disponible de estiércol fresco.

ETc = Cantidad total de estiércol generado en el cubículo en un día.

D = Densidad del estiércol.

3.5.3.1.4. Volumen de sustrato

Se realiza la relación estiércol agua en base a la relación 1:1 de esta manera queda así:

$$V_s = V_{EF} + \textit{agua}$$

Donde:

V_s=Volumen del sustrato

V_{EF} = volumen disponible de estiércol fresco.

3.5.3.1.5. Volumen de carga

Para la producción de biogás, el tiempo de retención según las condiciones climáticas de la zona, y el resultado de la práctica del biodigestor a escala piloto son 75 días, a partir de este dato consideramos un tiempo de alimentación de 10 días.

$$V_{C10días} = V_s * \#día$$

Dónde:

VC10días= Volumen de carga a los 10 días.

#días= números de días para realizar la carga del sustrato.

3.6. Instrumentos de investigación

- Monitoreo de las variables de control del proceso de biodigestion
- Análisis de parámetros físicos y químicos en laboratorio de agua y suelo de la facultad de Ciencias Ambientales
- Modelización del proceso para el diseño de un reactor a escala real

3.7. Tratamiento de los datos

Se utilizó estadística descriptiva para el análisis de los datos de la caracterización de la producción de estiércol de la granja porcina. Además, se hizo un análisis de varianza.

3.8. Recursos Humanos y Materiales

3.8.1. Recursos humanos.

- Ing. Raúl Vera (ayuda Técnica y logística).
- Laboratorio de Aguas y Suelo de la UTEQ

3.8.2. Materiales de oficina

- | | |
|---------------|-------------|
| ➤ Computadora | ➤ Grapadora |
| ➤ Lapiceros | ➤ Hojas |
| ➤ Impresora | |

3.8.3. Materiales de campo

- | | |
|-------------|------------------------|
| ➤ Palas | ➤ baldes |
| ➤ Báscula | ➤ Tachos, entre otros. |
| ➤ Saquillos | ➤ GPS |

CAPÍTULO 4
RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Resultados

4.1.1. Generación de deyecciones en la granja porcina “Galo Porcino”

4.1.1.1 Valoración del estiércol diario en la granja

Se llevó un registro de las deyecciones generadas durante un mes, separando a un cerdo del cubículo para obtener la cantidad diaria de excretas y así este valor multiplicarlos por los 500 cerdos que integran la granja porcina. En la siguiente tabla 10 se demuestran los resultados obtenidos:

Tabla 11. Generación diaria de estiércol porcino en kg

Días	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Promedio
Lunes	2,05	2,5	2,68	2,45	
Martes	2,27	2,55	2,68	2,23	
Miércoles	2,23	2,82	2,77	2,82	
Jueves	1,77	2,68	2,73	2,73	
Viernes	2,14	2,09	2,68	2,64	
Sábado	2,64	2,82	2,77	2,77	
Domingo	2,73	2,41	2,73	2,73	
Suma	15,82	17,86	19,05	18,36	
Promedio	2,26	2,55	2,72	2,62	2,54
Desv. Estand	0,33	0,26	0,04	0,21	

Fuente: Generación diaria de la granja

Elaboración: Autora

La tabla 10 muestra la cantidad de estiércol diario generado por un cerdo, este registro se lo realizó durante un mes obteniendo un valor promedio de generación diaria, siendo este valor 2,54 kg/d. La siguiente ecuación muestra la cantidad de estiércol diario generado, tomando a consideración los 500 cerdos que integran la granja porcina:

$$ET_g = EP_c * \#C_g$$

$$ET_g = 2,54 \text{ kg/d} * 500$$

$$ET_g = 1270 \text{ kg/d}$$

Cabe mencionar que el valor de “EPc” corresponde a la cantidad promedio de estiércol generado por un cerdo al día.

4.1.1.2 Análisis de varianza

Tabla 12. Análisis de Varianza

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Día	6	0,4949	0,08248	1,04	0,428
Error	21	1,6652	0,07930		
Total	27	2,1601			

Fuente: Mnitab17

Elaboración: Autora

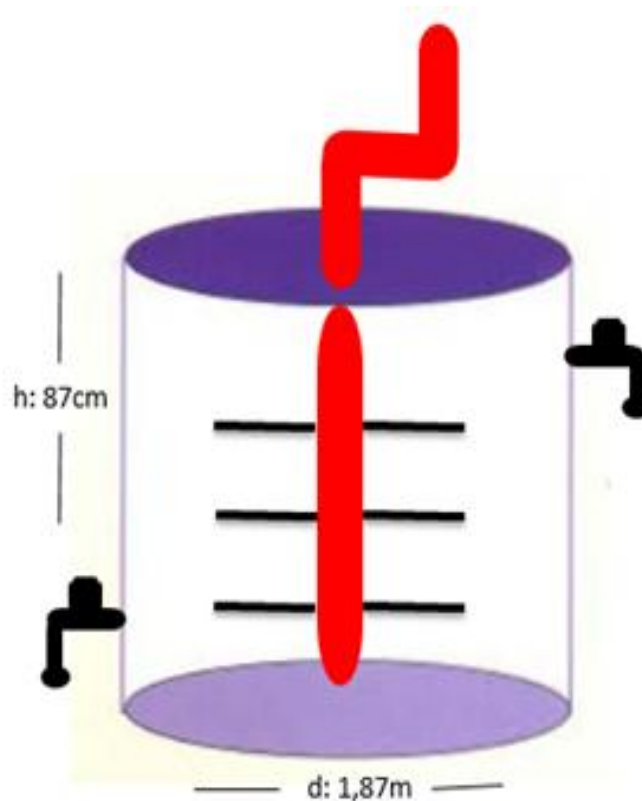
Se aplicó el análisis de varianza al registro de generación de estiércol diario de la granja porcina, y este demuestra que no existe variaciones significativas de excretas generadas al día por los cerdos.

4.1.2. Ensayo de la biodigestión de las deyecciones porcinas de la granja

De acuerdo a la metodología planteada se instaló como biodigestor un tanque de metal con una capacidad de 200 litros, con una altura de 87cm y un diámetro de 1,87 m, así mismo se le adaptó 2 llaves de paso; una inferior para la salida de biol y otra superior para la salida del biogás. Por otra parte el biodigestor consta de un termómetro de gas el cual sirvió para leer diariamente la temperatura, cada lectura se la midió en tres horarios diferentes (7:00 am; 12:00 pm; 05:00pm).

Se le adaptó una manivela que fue introducida en la tapa del tanque hasta llegar a la base, a esta pieza se le adaptó una especie de aspas con el fin de remover el material orgánico dentro del biodigestor. Una vez construido el biodigestor se aseguró que no existan fugas de gas en cada una de sus instalaciones.

Ilustración 6. Modelo del biodigestor piloto



Elaboración: Autora

4.1.2.1 Recolección del estiércol porcino

La recolección de la excreta se realizó en un balde de plástico, pesado en una balanza e ingresando al biodigestor 160.67 kg, de igual forma se extrajo 10 litros de agua residual de la piscina de oxidación. Mediante la siguiente tabla 12, se muestra la cantidad de sustrato agregado en el biodigestor:

Tabla 13. Cantidad de material ingresado en el biodigestor

Estiércol (kg)	Agua Residual (l)
160.67	10

Elaboración: Autora

4.1.2.1.1. Densidad del Estiércol

Para conocer la densidad del estiércol se pesó 13,2 kg de excretas porcinas en un balde aforado de 10 litros, obteniendo un volumen de $0,01\text{m}^3$. Una vez obtenido el volumen del estiércol se procedió a calcular la densidad del mismo mediante la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{M}{V}$$

$$\rho = \frac{13,2 \text{ kg}}{0,01\text{m}^3} = 1.320 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

La densidad del estiércol corresponde a $1.320 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, esto explica que se presenta mayor cantidad de biogás debido a la presencia de una gran cantidad de material sólido.

4.1.2.2 Volumen del sustrato

Para conocer qué cantidad de sustrato que debía colocar dentro del biodigestor se consideró su capacidad, la cual fué de 200 litros, tomando en cuenta que el 75% corresponderá al estiércol, y el 25% será destinado al biogás. El cálculo del volumen del sustrato se expresa a continuación:

$$Vs = Cc * 0,75$$

$$Vs = 200 \text{ l} * 0,75 = 150 \text{ l}$$

A estos 150 litros de estiércol se le incorporó una cantidad de 10 litros de agua residual, de acuerdo a esto, se establece lo siguiente.

150 L de estiércol + 10 L agua =160 L

Una vez aplicado los cálculos e instalado en biodigestor a escala piloto se produce la digestión anaerobia, midiendo constantemente los parámetros fisicoquímicos.

4.1.2.3 Monitoreo de parámetros físico-químico

4.1.2.3.1. Monitoreo del pH

Durante 1 mes se analizó el valor de pH de la muestra de estiércol tomada del biodigestor, esta toma se la realizó una vez por semana en el laboratorio de biotecnología con ayuda de un peachímetro, obteniendo así cuatro resultados reflejados en el siguiente gráfico:

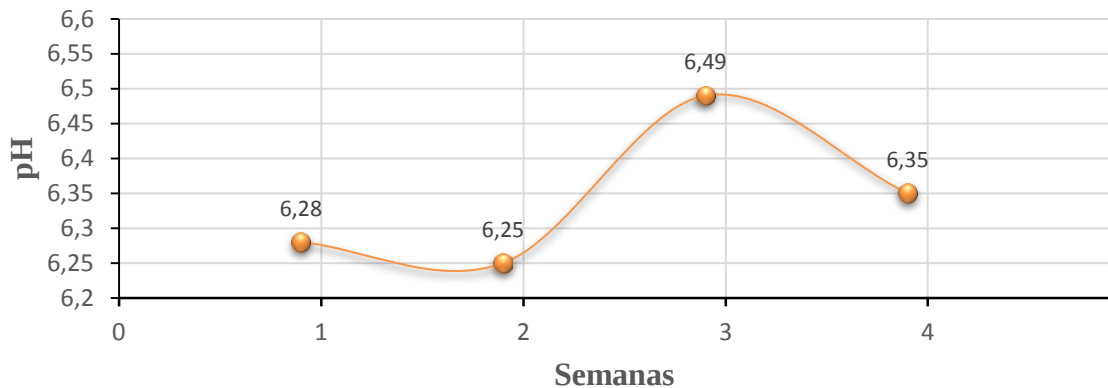


Gráfico 1. Cambios de pH

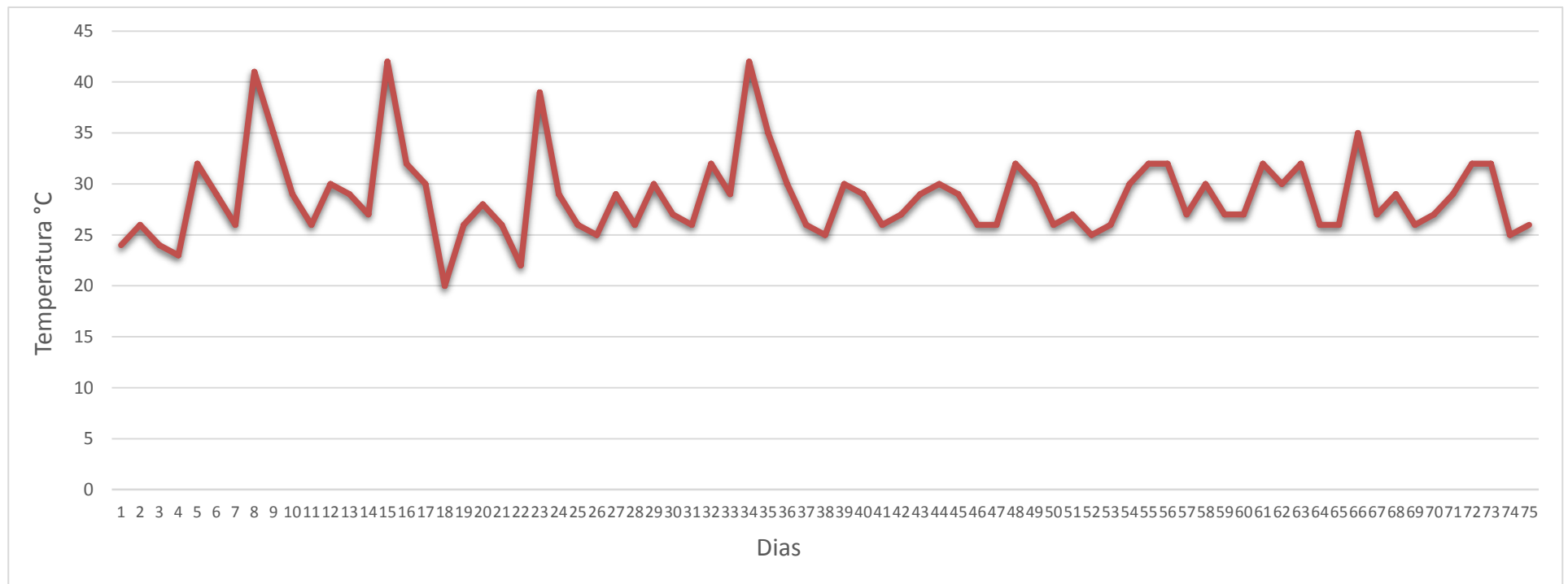
Fuente: Análisis de laboratorio de biotecnología
Elaboración: Autora

El gráfico 1 muestra que los valores de pH estuvieron dentro del rango de neutralidad 6,49 (ligeramente ácido) en todo el proceso de la descomposición anaeróbica.

4.1.2.3.2. Monitoreo de Temperatura

La temperatura fue registrada durante 75 días en 3 horarios diferentes como se muestran en el gráfico 2.

Gráfico 2 Cambios de Temperatura



Fuente: Datos de temperatura

Elaboración: Autora

La biodigestión del estiércol inició a una temperatura ambiente de 25°C, alcanzando a los 8 días una temperatura de 41°C y los días 15 y 34 su temperatura llegó a los 42°C siendo la más alta debido a las condiciones climatológicas de la zona, luego descendió hasta llegar a los 24°C manteniéndose ya constante. De esta manera se comprende que las temperaturas alcanzadas fueron ideales para la actividad microbiana en un medio anaeróbico.

4.1.2.3.3. Monitoreo de Sólidos Totales

Este parámetro fue analizado una vez por semana durante un mes, en una estufa a 105°C, para proyectar los datos en unidad de porcentaje se realizó una regla de 3, los datos obtenidos se evidencian en la tabla 13:

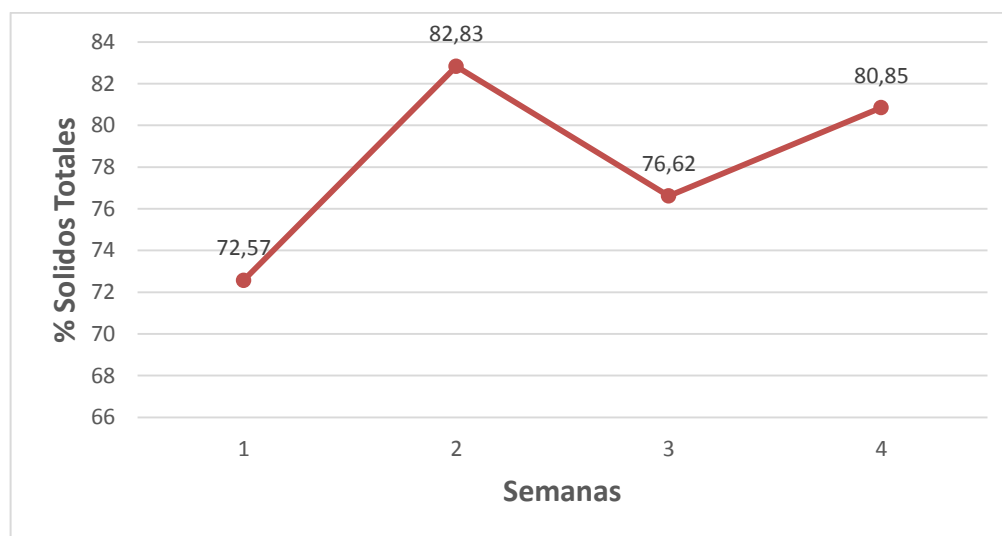
Tabla 14. Sólidos Totales

Fecha	ST (%)
23/02/17	72,57
02/03/17	82,83
09/03/17	76,62
16/03/17	80,85

Fuente: Datos de Laboratorio

Elaboración: Autora

Gráfico 3 Sólidos Totales



Fuente: Datos de Laboratorio
Elaboración: Autora

El gráfico 3 muestra un alto porcentaje de sólidos totales, indicando que la presencia de un elevado contenido de este parámetro disminuirá la actividad microbiana en la degradación de la materia orgánica dando lugar a una ineficiente producción del biogás; esto debido a que sobrepasa el estándar establecido por la FAO donde se indica el promedio de sólidos totales en los residuos porcinos (tabla 14)

Tabla 15. Contenido promedio de Sólidos Totales en diversos residuos

Materias Primas	% Sólidos Totales (ST)
Bovinos	13,40 – 56,20
Porcinos	15 – 49
Aves	26 – 92
Rastrojos de maíz	77
Paja de trigo	88 – 90
Hortalizas	10 – 15
Tubérculos	10- 20
Aserrín	74 – 80

Fuente: FAO, 2011

4.1.2.3.4. Monitoreo de Sólidos Volátiles Totales

Los sólidos volátiles totales fueron analizados, en una mufla a 550°C, para la obtención de estos datos de aplico una resta de Solidos Totales menos Solidos Fijos Totales. Se expresan en la tabla 15.

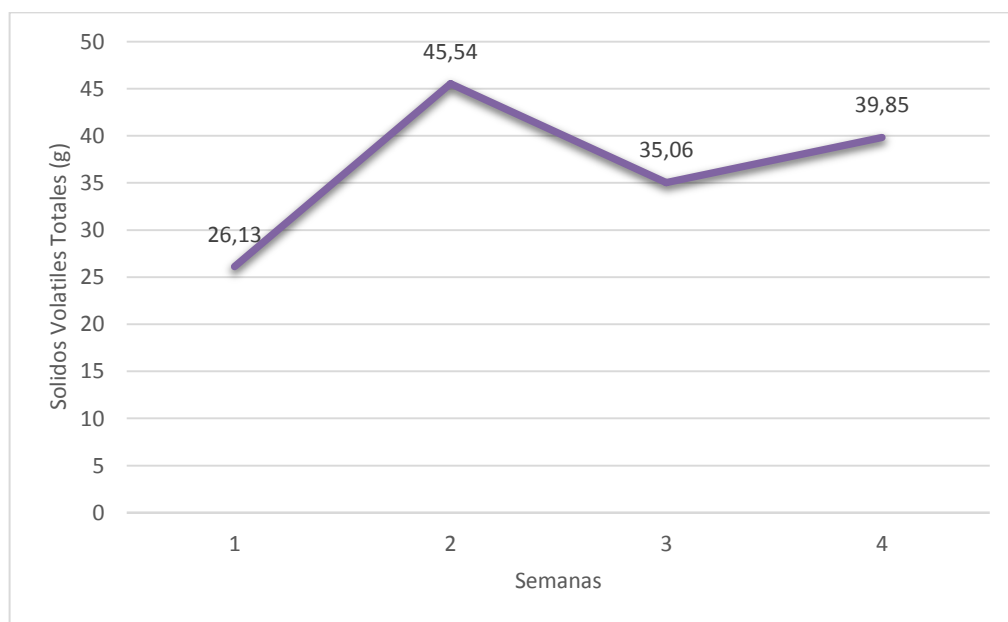
Tabla 16. Solidos Volátiles Totales

Fecha	SVT (g)
23/02/17	26,13
02/03/17	45,54
09/03/17	35,06
16/03/17	39,85

Fuente: Datos de laboratorio

Elaboración: Autora

Gráfico 4. Sólidos Volátiles Totales



Fuente: Datos de laboratorio

Elaboración: Autora

El gráfico 4 indica la cantidad en gramos de sólidos que se volatizaron durante la incineración, estos sólidos contienen compuestos orgánicos los que prácticamente deben ser convertidos a metano

4.1.3. Propuesta de un Diseño de Sistema de Biodigestión

Con el propósito de elaborar un documento que demuestre la viabilidad de instalar un sistema de biodigestión en la granja porcina “Galo Porcino” y tomando en cuenta las características de lugar como número de animales, generación diaria de estiércol y espacio destinado a las instalaciones del biodigestor se aplican cálculos matemáticos que se muestran a continuación:

4.1.3.1 Cálculos del Diseño

4.1.3.1.1. Cálculo de la Generación de Estiércol diario de la Granja

Basándose en el valor promedio de la generación diaria de un cerdo como se muestra en la tabla 9 (2.54 kg) y el número total de animales (500) se plantea la siguiente ecuación:

$$ET_g = EP_c * \#C_g$$

$$ET_g = 2,54kg/d * 500$$

$$ET_g = 1270 \frac{kg}{d}$$

4.1.3.1.2. Cálculo de la Generación de Estiércol diario en el cubículo

Utilizando el valor promedio de la generación diaria de un animal (ver tabla 9) y el número de cerdos en un cubículo (100) se realiza el siguiente cálculo:

$$Et_c = EP_c * \#C_g$$

$$Et_c = 2,54kg/d * 100 = 254kg/d$$

4.1.3.1.3. Volumen de Estiércol en el Biodigestor

El volumen de estiércol que se dispondrá para ser usado en la biodigestión será el generado por los 500 animales de la granja, se toma en consideración

$$VEf = \frac{ET_g}{D}$$

$$Vef = \frac{1270 \frac{kg}{d}}{1320 \frac{kg}{m^3}}$$

$$Vef = 0,962 m^3/d$$

$$Vef = 962 l/d$$

4.1.3.1.4. Volumen de sustrato

La determinación del volumen ideal del sustrato se determina mediante el volumen de estiércol que ingresará en el biodigestor con relación al agua, esta relación se la muestra en la siguiente tabla 13:

Tabla 17. Relación estiércol - agua

Nº	Estiércol	Agua
1	Bovino Fresco	1:1
2	Bovino Seco	1:2
3	Porcino	1:2
4	Aves	1:1
5	Equino	1:2
6	Desechos Humanos	1:1
7	Desechos Vegetales	1:0,5-2

Fuente: Ing. Carrasco Franklin. (2008). Nota De Aula De Energías No Convencionales

Elaboración: Autora

$$V_s = V_{ef} + Agua$$

$$V_s = 962 \frac{l}{d} + 1924 \frac{l}{d}$$

$$V_s = 2886 \text{ l/d}$$

Para obtener una mezcla de sustrato ideal (estiércol + agua), se debe realizar esta relación (1:2) sin olvidar considerar las características del estiércol para poder añadir correctamente la cantidad de agua.

4.1.3.1.5. Volumen de Carga a ingresar en el Biodigestor

Considerando el biodigestor piloto se toma como referencia los 75 días que necesitó el sustrato para producir biogás con 10 días de carga, de igual manera la propuesta de diseño que se plantea va destinada para la producción de estiércol de los 500 animales.

$$V_{C10dias} = V_s * \#dias$$

$$V_{C10dias} = 2886 \frac{l}{d} * 10d$$

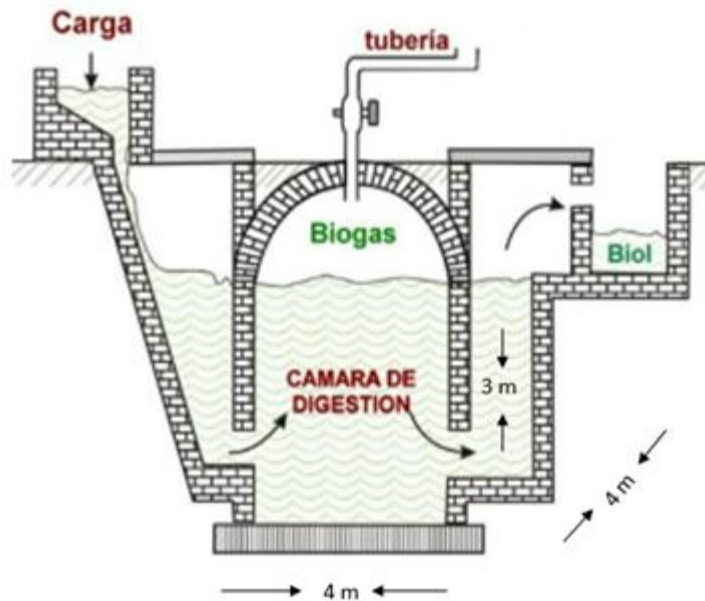
$$V_{C10dias} = 28860 \text{ l}$$

Partiendo del volumen de los 10 días de carga que se estableció, siendo este 28860 litros que representa el 75% del biodigestor y considerando también el espacio en que se producirá el biogás que es el 25% sobrante, se obtiene como volumen total del biodigestor 36075 litros que equivale a 36 m³.

A partir de los resultados anteriores se procede a determinar las dimensiones del biodigestor más óptimo para el volumen de sustrato que se genera diario en la granja porcina “Galo Porcino”.

4.1.3.2 Diseño del biodigestor

Ilustración 7. Diseño del Biodigestor



Fuente: Datos de Laboratorio
Elaboración: Autora

Una vez que se determinó el volumen de estiércol que se genera en 10 días, se plantea las siguientes dimensiones para el biodigestor a escala real:

- 4 m de ancho
- 4 m de largo
- 3 m de altura

El tipo de biodigestor que se propone es un modelo chino trabaja con un flujo semicontinuo, este debe ser construido en el subuelo, ya que al estar enterrado favorece el proceso fermentativo con poca influencia por los cambios de temperatura, debe ser construido de hormigón, sus características determinan que debe contar un compartimiento de entrada de material orgánico y otro para la salida del biol que servirá como abono orgánico, con dos tubos de PVC para la carga y descarga, una cámara de hidropresión con

tapa de acero, cámara de fermentación, y una cámara de depósito de gas sobre esta se construirá también una cúpula que estará estructurada de forma semiesférica con concreto reforzado y llevará una tapa de acero.

4.1.3.2.1. Depreciación de materiales de construcción del biodigestor

La cantidad de materiales por m³ de concreto, para una resistencia mayor de 300kg/cm² es la siguiente:

- Piedra 1000 kg, arena 600 kg, cemento 350kg
- Impermeabilizante que se usa en el acabado de los digestores es una proporción de 1L por saco de cemento
- Los pisos van reforzados con mallas o varillas de hierro de 8"
- Cámara de carga puede ser de 1m², la cámara de descarga puede ser de 2m², unido a la cámara de fermentación con tubería de PVC de 4"

4.1.3.2.2. Costo de materiales

Tabla 18. Costo de materiales para construcción de biodigestor

Cantidad	Descripción	Valor Unitario	Valor Total
50	Fundas de cemento	7,02	350,88
2 VQT	Arena	100	200
2 VQT	Piedra	60	120
70	Tablas	6	420
15	Cañas	4	60
20	Listones	3	60
2	Tubo de PVC de 4"	6.5	13
50 L	Impermeabilizante	4	200
2 planchas	Acero inoxidable 1,22 × 2,44	60	120
7 qq	Varillas de hierro 8 milímetros	3,55	124,19
11 qq	Varillas de hierro 10 milímetros	5,57	306,38
16 m	Malla	38,16	114,49
22 lb	Alambre negro	0,79	17,37
15 lb	Clavos de 2 ½ pulg.	0,79	11,84
	Mano de obra	3500	3500
Costo Total			5618,15

Elaborado: Autora

4.2. Discusión

Teniendo en cuenta que a los 30 días de haber ingresado el sustrato al biodigestor, las bacterias metanogénicas comenzaron a generar biogás y al cabo de los 75 días que duró el proceso de descomposición se obtuvo valores de pH entre los rangos de neutralidad (6,2 - 6,5). Al mismo tiempo Soria, en el año 2001 en un estudio sobre Producción de Biofertilizantes mediante Biodigestion sus resultados de pH fueron ligeramente alcalinos 7,05. Esto indica que los valores resultantes de esta investigación fueron más ácidos lo que disminuyó la actividad de las bacterias metanogénicas para la producción del gas metano.

Los días 15 y 34 es donde se obtuvo las temperaturas más altas, llegando a los 42°C (clima frío), esto se dio en la fase termofílica, y así se mantuvo hasta estabilizarse y quedar en 24°C. Al respecto Soria, en su investigación alcanzó temperaturas de 56°C (clima cálido) en su fase termofílica, al final su temperatura se estabilizó en 23°C. Estos resultados indican que por condiciones climatológicas no se presentaron temperaturas muy altas, sin embargo el tiempo de descomposición fue óptimo a diferencia de otras investigaciones que en bajas temperaturas puede demorarse hasta 90 días en generar biogás.

El porcentaje de Sólidos Totales que fue de 80,85 %, en las muestras analizadas del biodigestor piloto sobrepasa el estándar establecido por la FAO, 2011 indicando que un alto contenido de ST evita la movilidad de los microorganismos y así disminuye la generación de biogás. Referente a esto Tóala en el año 2013, en su investigación titulada “Diseño de un Biodigestor de Polietileno para la Obtención de Biogás a partir del Estiércol de Ganado en el Rancho Verónica”, obtuvo de sólidos totales 48,76 %, manteniéndose dentro del estándar establecido, estos resultados se obtuvieron de la relación estiércol-agua al momento de la mezcla a ingresar en el biodigestor. Así mismo en el análisis de sólidos volátiles totales se obtuvo un valor de 39, 85g; como lo añade Díaz, Estipia y Molina en el 2002, esta cantidad representa la materia orgánica volatizada que contiene compuestos orgánicos y debe ser convertida en metano.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

La granja “Galo Porcino” genera alrededor de 2,54 kg/d de estiércol por animal, siendo 1270 kg/d la generación total, teniendo en consideración que cuenta con 500 cerdos en etapa de engorde, siendo su alimentación a base de balanceado y harina.

Al finalizar la experimentación se obtuvo valores de pH: 6,5; Sólidos Totales: 80,85 %; Sólidos Volátiles Totales; 39,85 y una Temperatura más alta: 42°C en todos los resultados de cada parámetro no se alcanzó el promedio requerido para un correcto proceso de generación de biogás, sin embargo el tiempo destinado para esta generación fue eficaz teniendo en cuenta las condiciones climatológicas.

Durante la práctica no se consideró una relación ideal de 1:2 para la mezcla de estiércol con agua a ingresar en el biodigestor y obtener un medio adecuado para la actividad microbiana, esto debido a que no se tuvo conocimiento de la importancia de aplicar dicha relación, y por ello en el ensayo se colocó 160,67 kg de excretas más 10 litros, esto ocasionó que el ensayo de la digestión anaerobia no cumpla con valores óptimos en los parámetros analizados.

El biodigestor que se propone diseñar será tipo Chino y con un proceso semicontinuo, el volumen de sustrato a ingresar al biodigestor será de 28860 l/d por un tiempo de carga de 10 días, debe ser construido de material de concreto y por sus características tendrá una vida útil mínimo de 15 años

5.3. RECOMENDACIONES

Proponer realizar análisis de la composición del biogás (CHON), alcalinidad, ácidos grasos volátiles, coliformes fecales y conductividad eléctrica. Comprobación de la funcionabilidad de un manómetro para la determinación de la presión del biogás generado

Realizar una óptima relación estiércol agua, utilizando las proporciones 1:2 como lo sugiere en el proyecto de investigación titulado “Diseño de un Biodigestor de Polietileno para la Obtención de Biogás a partir del Estiércol de Ganado en el Rancho Verónica”

Involucrar a los estudiantes de la Universidad con carreras afines al tema de investigación para nuevos proyectos destinados al aprovechamiento de residuos orgánicos tal como la generación de biogás incluyendo estudios al biol para su posterior uso.

Aplicar actividades referentes a la investigación en los proyectos integradores, ya que de esta manera los estudiantes obtendrán conocimientos prácticos sobre el aprovechamiento de residuos orgánicos.

CAPÍTULO 6
BIBLIOGRAFIA

6.1. BIBLIOGRAFÍA

- 1 Arabo F. Fundamentos de tecnologia ambiental. Madrid: S.A.P.T Publicaciones Tecnicas ; 2000.
- 2 Samayoa S, Bueso C, Viquez J. Implementacion de sistemas de biodigestion en eco empresas. Honduras: 1ra. Edicion; 2012.
- 3 MAGAP, AGROCALIDAD, ASPE y. Encuesta Nacional sanitarias de granjas de ganado porcino. 2010.
- 4 Castrillon L, Mara  n E. Problemática de los residuos ganaderos. 02105659th ed. 2003.
- 5 Besel S. Biomasa digestores anaerobios. Madrid-España: Idea-Editorial; 2007.
- 6 Rolando C, Elba V. Identificación Y Clasificación de los Distintos Tipos de Biomasa. Chile 2009.
- 7 Wilkie A. Anaerobic digestion: biology and benefits. Florida, EEUU 2005.
- 8 Ponton D. Diseño De Un Sistema Para La Obtención De Biol Mediante Los Residuos Sólidos Orgánicos. Riobamba-Ecuador 2010.
- 9 INTA, FAO. Buenas practicas pecuarias para la produccion y comercializacion porcina familiar. 2012.

- 10 Bundy C. Produccion porcina. Mexico: Ed. CECSA; 1981.
- 11 Buxade C. Zootecnia, bases de produccion animal. Porcinocultura intensiva y extensiva. 1996.
- 12 Angelidaki I, Ahring B. Anaerobic thermophilic digestion of manure at different ammonia loads. 1994.
- 13 Montalvo S, Guerrero L. Tratamiento anaerobio de residuos. Preliminar ed. 2003.
- 14 Zeikus J. Microbial population in digesters. Stafford, Scientific Press, Cardiff; 1980.
- 15 Moletta R. Control y Monitoreo de la Digestion Anaerobia. Chile 1998.
- 16 Barnero M. Manual del Biogas. Santiago de Chile 2011.
- 17 Insam H, Franke-Wittle, y Goberna M. Microbes in aerobic and anaerobic waste treatment. London, New York 2009.
- 18 Koster I, Lettinga G. Digestion anaerobias a concentraciones amoniacaes extramas. 1988.
- 19 Seadi T, Rutz D, Prassl H, Kottner M, Volk S, Janssen R. Manual del Biogas. 2008.
- 20 Cervantes F, Pavlostathis S, Van Handel A. Avanzados procesos de tratamientos

biologicos. London, England: 1ra. ed: IWA; 2008.

21 Welander T. An anerobic process for treatment of CTMP effluent. 1988.

22 Xi-Chun W. Study on increase biogas production rate of biogas digester in cold regions of China. Bologna, Italia 1988.

23 Montalvo S. Paramentros operacionales eficientes para el diseño de digestores de lodos de cebadero de toros. Habana 1988.

CAPÍTULO 7

ANEXOS

7.1. Matriz FODA

Tabla 19. Matriz FODA del estado actual de la granja Galo Porcino

FORTALEZAS	DEBILIDADES
• Abundante materia prima • Terreno extenso • Recursos humanos • Condiciones climatológicas	• Falta de capacitación • Falta de conocimiento técnico • Control de sanidad insuficiente • Uso de piscinas de oxidación • No se cuenta con instalaciones adecuadas
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
• Uso de materia orgánica para producir biogás. • Crear fuentes de empleo • Contratación de técnicos para monitoreo de la granja	• Peste porcina • Cambios climáticos • Granjas vecinas • Desastres naturales

Elaboración: Autora

7.2. Fotografías



Fotografía 1.- Recolección de estiércol



Fotografía 2.- Pesaje de estiércol



Fotografía 3.- Toma de muestra (biol)



Fotografía 4.- Biodigestor



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

Telefax: (593-05) 759291
Telf. UTEQ: (593-05) 750320 – 751430

Casillas: Guayaquil 10672 – Quevedo 73
Km. 1.5 vía a Santo Domingo
Quevedo – Los Ríos - Ecuador

Quevedo, 4 de abril del 2017

CERTIFICACIÓN

El suscrito, Julio Pazmiño Rodríguez, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el proyecto de investigación de la Srta. **SÁNCHEZ HINOJOSA YOMELY THAILY** con el tema: **EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DE LA BIODIGESTION COMO SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE LA GRANJA PORCINA “GALO PORCINO” CANTÓN ECHEANDIA, PROVINCIA DE BOLIVAR, AÑO 2016**. Fue ingresado al sistema URKUND y presentó el 10% de similitud, considerando el Reglamento e Instructivos de Proyecto de Investigación de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Ing. Julio Pazmiño Rodríguez
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Urkund Analysis Result

Analysed Document: TESIS YOMELY SANCHEZ.docx (D27025917)
Submitted: 2017-04-05 01:42:00
Submitted By: yomely.sanchez@uteq.edu.ec
Significance: 10 %

Sources included in the report:

TESIS DOC.docx (D10165217)

Instances where selected sources appear:

33



EU El Universo | Noticias de Ec... x Universidad Técnica Estatal de... x Urukund 20% de similitud... x D27025917 - TESIS YOMIEL... x +

https://secure.urkund.com/view/26801700-393392-371190-ED-Q7DJADEFB429HP-22715Cq6BkAp5MS5CqYxkb52ALXV0060

URKUND

Documento TESIS YOMIEL Y SANCHEZ.docx (D27025917)

Presentado 2017-04-04 18:42 (-05:00)

Presentado por yomiel.y.sanchez@ureq.edu.ec

Recibido jpasmino.ureq@analysis.urkund.com

Mensaje TESIS YOMIEL Y SANCHEZ. Mostrar el mensaje completo

10% de esta aprox. 31 páginas de documentos largos se componen de texto presente en 1 fuente.

90%

Activo

declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento. La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

90%

Archivo de registro Urukund - Universidad Tecnológica Equinoccial / TESIS RONALDO BLADHIN RUC... 90%

declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento. La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Sánchez Hingosa Yomiel Thailly. CERTIFICACIÓN DE CUMPLIMIENTO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, Ing. Julio Cesar Pazmiño Rodríguez, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que la estudiante Sánchez Hingosa Yomiel Thailly, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado "EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DE LA BIODIGESTIÓN COMO SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE LA GRANJA PORCINA "SALO PORCINO" CANTÓN ECHENHUA, PROVINCIA DE BOLÍVAR, AÑO 2016" previo a la obtención del título de Ingeniera en Gestión Ambiental, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

INVESTIGACIÓN

Ing. Julio Cesar Pazmiño Rodríguez DIRECTOR DEL PROYECTO DE

UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES CARRERA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

Lista de fuentes Bloques

Categoría	Enlace/nombre de archivo
	TESIS DOC.docx
	TESIS DOC.docx
	TESIS DOC.docx
	http://docplayer.es/7293533-Proyecto-chi-02-832-chile-remodion-de-barreras-para-la-electrific...
	PROYECTO DE INVESTIGACION RODRIGO ARENAL O LUNA.docx
	Perfil de tesis fcr.docx

Advertencias.

Remitir

Exportar

Compartir

9:24

05/04/2017