



Universidad Estatal Península de Santa Elena

Facultad de Ciencias Agrarias

Carrera de Agropecuaria

COMPONENTE PRÁCTICO DEL EXAMEN DE CARÁCTER COMPLEXIVO

MODALIDAD: “ESTUDIO DE CASO”

TEMA

**ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO DE UN BIODIGESTOR PARA LA
DISMINUCIÓN DE RESIDUALES CONTAMINANTES EN LA GRANJA
PORCICOLA “SAN LUIS” UBICADA EN LA COMUNA EL TAMBO, CANTON
SANTA ELENA, PROVINCIA DE SANTA ELENA.**

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: Adriana Vanessa Tomalá Tomalá.

Tutor: Ing. Idalberto Macías Socarrás, Ph.D

La Libertad, 2021



Universidad Estatal Península de Santa Elena

Facultad de Ciencias Agrarias

Carrera de Agropecuaria

“ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO DE UN BIODIGESTOR PARA LA DISMINUCIÓN DE RESIDUALES CONTAMINANTES EN LA GRANJA PORCICOLA “SAN LUIS” UBICADA EN LA COMUNA EL TAMBO, CANTON SANTA ELENA, PROVINCIA DE SANTA ELENA”

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: Adriana Tomalá Tomalá.

Tutor: Ing. Idalberto Macías Socarrás PhD

La Libertad, 2021

TRIBUNAL DE GRADO



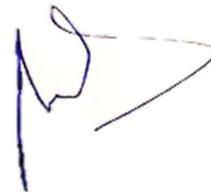
Ing. Nadia Quevedo Pinos. PhD.
**DIRECTORA DE CARRERA DE
AGROPECUARIA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



Ing. Carlos Balmaseda Espinosa, PhD.
**PROFESOR ESPECIALISTA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Ing. Idalberto Macías Socarrás. PhD.
**PROFESOR TUTOR
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Ing. Andrés Drouet Candell, MSc.
**PROFESOR GUÍA DE LA UIC
SECRETARIO**

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es describir el funcionamiento de un biodigestor creado para disminuir la generación de residuales contaminantes en la granja “San Luis” ubicada en la comuna el tambo, cantón santa elena, provincia de Santa Elena

Palabras claves: biodigestor, descomposición, cerdos, biofertilizantes.

CARTA DE ORIGINALIDAD

Ing.
NADIA QUEVEDO
DIRECTOR/A DE LA CARRERA DE AGROPECUARIA
UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
Presente. -

Cumpliendo con los requisitos exigidos por la Facultad de Ciencias Agrarias, carrera de Agropecuaria, envío a Ud. el componente práctico del examen complejo titulado “ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO DE UN BIODIGESTOR PARA LA DISMINUCIÓN DE RESIDUALES CONTAMINANTES EN LA GRANJA PORCICOLA “SAN LUIS” UBICADA EN LA COMUNA EL TAMBO, CANTON SANTA ELENA, PROVINCIA DE SANTA ELENA”. Para que se considere su sustentación, señalando los siguiente:

1. La investigación es original.
2. No existen compromisos ni obligaciones financieras con organismos estatales y privados que puedan afectar, el contenido, resultados o conclusiones de la presente investigación.
3. Constatamos que la persona designada como tutor/a es el/la responsable de generar la versión final de la investigación.
4. El/la tutor/a certifica la originalidad de la investigación y el desarrollo de la misma, cumpliendo con los principios éticos.



Adriana Tomalá Tomalá

AUTOR



Ing. Idalberto Macías Socarrás PhD

TUTOR

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
	Problema Científico:	2
	Objetivo general:.....	2
	Objetivos específicos:	2
	Hipótesis:.....	2
2	MARCO TEORICO	3
2.1	Biodigestor	3
2.1.1	<i>Definición</i>	3
2.2	Digestión anaeróbica dentro del Biodigestor	4
2.3	Hidrólisis.....	4
2.4	Etapa fermentativa o acidogénica	5
2.5	Fermentación de carbohidratos solubles.....	5
2.6	Fermentación de aminoácidos	5
2.7	Oxidación anaerobia de ácidos grasos de cadena larga	6
2.8	Etapa acetogénica	6
2.9	Etapa metanogénica	6
2.10	Biofertilizantes	7
2.11	Biomasa.....	7
2.12	pH óptimo	8
2.13	Temperatura de crecimiento de los microorganismos	8
2.14	Biodigestor tubular	8
2.15	Factores de Construcción	9
2.16	Selección del lugar a construirse	9
2.17	Estructura de un biodigestor.....	10
2.18	Aspectos a tener en cuenta en el dimensionamiento de una planta de biogás	10

2.19	Conceptos y valores característicos	10
2.20	Dimensionamiento del Digestor.....	11
2.21	Tamaño del biodigestor	12
2.21.1	<i>Temperatura</i>	12
2.21.2	<i>Cantidad de Excretas o Aguas Residuales</i>	13
2.22	Modelo horizontal.....	14
2.23	Partes principales del biodigestor de polietileno	15
2.23.1	<i>Tubo de admisión</i>	15
2.23.2	<i>Fermentador y bolsa de almacenamiento</i>	15
2.23.3	<i>Tubo del afluente</i>	15
2.23.4	<i>Tubo de metano</i>	15
2.23.5	<i>Dispositivo de seguridad</i>	15
2.24	Instalación.....	15
2.25	Mantenimiento.....	16
2.26	Relación biogás por tipo de residuo animal	16
3	MATERIALES Y METODOS	18
3.1	Ubicación	18
3.2	Materiales	19
3.3	Metodología del proyecto	19
3.3.1	<i>Estudio de reconocimiento</i>	19
3.3.2	<i>Estudio de Factibilidad</i>	19
3.3.3	<i>Metodología usada para el trabajo</i>	20
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
4.1	Capacidad del biodigestor	22
4.2	Cálculo de la generación de estiércol diario de la granja porcicola San Luis.....	23
4.3	Agitación.....	27
4.4	Factibilidad técnica del funcionamiento.....	28
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	31
	Conclusiones.....	31
	Recomendaciones	32
	BIBLIOGRAFÍA	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de un biodigestor en base a purines	3
Figura 2 Esquema de reacciones de la digestión anaerobia de materiales poliméricos	7
Figura 3 Biodigestor horizontal	14
Figura 4 Ubicación geográfica de la granja “San Luis”	18
Figura 5 volumen del biodigestor total	22
Figura 6 Producción total de estiércol por estado fisiológico	24
Figura 7 Cantidad de agua utilizada en el lavado	25
Figura 8 Producción total día 33	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Materiales para obtener resultados del funcionamiento del biodigestor	19
Tabla 2 Tiempo de retención necesario en biodigestores para cada piso térmico.....	12
Tabla 3 Consumo de agua según el tipo de explotación	13
Tabla 4 Producción de heces y orina en cerdos por cada cien kilos de peso vivo	14
Tabla 5 Relación biogás generado por cada kg de estiércol.....	16
Tabla 6 Proporción adecuada de mezclas de estiércol con agua.....	17
Tabla 7 cálculos producción total de estiércol en la granja “SAN LUIS”	23
Tabla 8 Cantidad de agua usada en lavado.....	25
Tabla 9 cálculos biofertilizante y biogás generado día 33	27
Tabla 10 Factibilidad técnica del biodigestor	28

1 INTRODUCCIÓN

Las grandes problemáticas en cuanto a la contaminación ambiental que existe en Ecuador y también a nivel mundial ha llevado a una investigación ardua en cómo transformar desechos orgánicos de origen animal y vegetal a productos útiles para el hombre como es el biogás y los fertilizantes que son efectos de una descomposición anaeróbica que la hace un biodigestor (Fernández, 2002)

Este tipo de mecanismos ya utilizados en otros países hacen que la producción animal no sea un factor limitante para los productores, cabe recalcar que la poca información que se tiene de este tipo de tecnología hace que los productores muchas veces se limiten a tener un número determinado de animales, porque no saben cómo hacer un buen uso de la biomasa que ellos generan.

Al analizar los factores importantes que han influido en la fabricación de biogás y biofertilizantes, se identificaron conveniencias a bien de los productores de generar combustible renovable a bajo costo y biofertilizantes hechos a base de la utilización de materiales orgánicos reciclados como lo es el estiércol de cerdo (Koeslag, 2012). Por lo cual el mejor modo de poder valorar el comportamiento biológico de los diferentes reactores es el empleo simultáneo de tres indicadores que están relacionados entre sí: la velocidad de adición de sustrato, la velocidad de formación del producto y el tiempo de retención (Vereda, et al., 2006)

Por tanto, ya expuesto los beneficios que se generan a partir de un biodigestor se puso en práctica observar el funcionamiento de un biodigestor en la comuna El Tambo cantón Santa Elena Provincia de Santa Elena.

Problema Científico:

¿Es posible que un biodigestor funcione como controlador de la biomasa que genera la granja Porcicola “San Luis” y esta genere productos como biofertilizantes y biogás?

Objetivo general:

- Describir el funcionamiento de un biodigestor creado para disminuir la generación de residuales contaminantes en la granja “San Luis” ubicada en la Comuna El Tambo, cantón Santa Elena, Provincia de Santa Elena.

Objetivos específicos:

- Diagnosticar el funcionamiento del biodigestor instalado en la granja “San Luis”.
- Identificar tipos de carga que recibirá el biodigestor para que logre el rendimiento esperado.
- Evaluar el potencial de los residuales del biodigestor con fines agro-productivos, biogás y biofertilizantes.

Hipótesis:

La utilización de un biodigestor en la granja “San Luis” ubicada en la Comuna El Tambo, cantón Santa Elena, Provincia de Santa Elena contribuirá a disminuir la carga contaminante generada en la zona y sus residuales podrán ser utilizados con fines agro-productivos beneficiosos.

2 MARCO TEORICO

2.1 Biodigestor

2.1.1 Definición

El biodigestor es un contenedor o también llamado estanque, el cual se caracteriza por estar herméticamente cerrado, es decir un sistema impermeable. Otros autores también lo definen con el nombre de reactor ya que pueden fermentar distintos productos deseados, como por ejemplo la mezcla de material orgánico con el agua, donde estas pueden ser, por ejemplo; purines, excrementos humanos, hojas, desechos vegetales, excrementos de animales, pasto, etc. En este proceso de la reacción de mezcla de compuestos orgánicos que suceden en el interior del estanque sucede un fenómeno denominado proceso anaeróbico o descomposición anaeróbica, donde con la ayuda técnica y eficaz del sistema se obtiene biofertilizantes o biogás que son utilizados para la práctica sostenible con el medioambiente. Un biodigestor además puede tener varios complementos para la obtención de un mejor resultado o producto deseado entre los cuales se mencionan a; sistema o cámara de decantación antes del reactor, sistema de recolección del biogás, estanque de carga, sistema de mezclado de la materia orgánica y calefacción en el interior del estanque. (Herrero, 2008)

En la figura 1, se detalla como ingresa el sustrato o materia orgánica al biodigestor y como es la salida tanto del biogás y el biofertilizante en la parte superior del estanque.

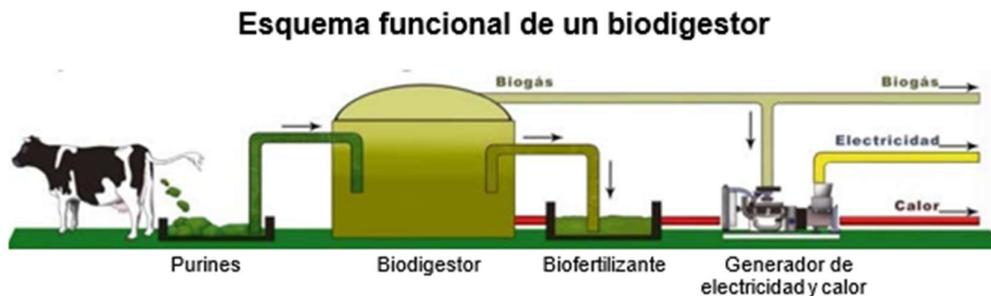


Figura 1 Esquema de un biodigestor en base a purines

Fuente: Biotecsur.

2.2 Digestión anaeróbica dentro del Biodigestor

Es un proceso de descomposición del material orgánico o biodegradable por la acción de microorganismos sin la presencia del oxígeno, en este proceso se desprenden una serie de gases donde se cita a el metano, (CO₂) o dióxido de carbono entre los principales, esto tipos de gases obtenidos dependerá mucho del material utilizado para la fermentación de los mismos.

El gas obtenido puede ser el principal a obtener, pero no es el único beneficio ya que los residuos producidos del material introducido pueden ser utilizados para la fertilización en la agricultura, ya que en su proceso también ayudó con la destrucción de agentes dañinos, por lo que es considerado como un mejorador de los suelos (Arevalo, 2015).

Por todas estas razones o beneficios que brinda la utilización del sistema, es que hoy en día el reactor o biodigestor es un elemento primordial e indispensable para las prácticas sostenibles, ya que brinda energía sin contaminar el medio ambiente. Y que se debería tomar la debida importancia para la obtención de recursos naturales para optimizar y disminuir la destrucción de los recursos del medio en que vivimos. (Forget, 2011)

Para Bautista, (2010) La digestión anaeróbica ayuda a una mayor rapidez de descomposición de la porción orgánica biodegradable, cuyo resultado final será el biogás, donde el aprovechamiento energético de la materia es superior. Este tipo de digestión se realiza por un proceso de etapas que son;

- Hidrólisis
- Etapa fermentativa o acidogénica
- Etapa acetogénica
- Etapa metanogénica

2.3 Hidrólisis

Este fenómeno es el paso inicial para el desdoblamiento de los compuestos orgánicos a compuestos más sencillos denominados monómeros por la acción anaeróbica por los microorganismos, ya que estos solo pueden actuar si la materia soluble pueda pasar su pared celular que los rodea. El trabajo de estos seres hidrolíticos es gracias a la acción de enzimas extracelulares que poseen que desdoblan compuestos complejos en sencillos.

(Olaya, 2009) en su investigación refuta que, una de las limitantes en la descomposición de materia biodegradable es debido al alto contenido de sólidos en las mismas, ya que disminuye la velocidad de descomposición y en donde la etapa hidrolítica juega un papel esencial para ayudar al proceso anaeróbico. También se debe tomar en cuenta aspectos como; cantidad de lignina, tamaño de partículas, pH, temperatura del sistema, tiempo de retención hidráulico, grasas y proteínas, concentración del NH_4 como las principales.

Los compuestos esenciales para la digestión anaeróbica son; hidratos de carbono, lípidos y proteínas, ya que de ellos a través de su hidrolisis se obtiene un alto nivel nutritivo para la obtención de energía y fuentes de carbono. La hidrolisis de estos compuestos es realizada así; los péptidos hidrolizan a las proteínas y las enzimas proteasas a los aminoácidos respectivamente. Mientras que a los lípidos los degradan las enzimas denominadas lipasas. Cabe recalcar que una parte de los aminoácidos se utilizan para la síntesis celular, y donde otra parte se degradan en CO_2 , hidrogeno, amonio y ácidos grasos volátiles (Bautista, 2010).

2.4 Etapa fermentativa o acidogénica

En esta segunda etapa es donde ocurre la fermentación del material biodegradable y donde las sustancias o compuestos resultantes puedan ser utilizada por bacterias metanogénicas (fórmico, acético, H_2). También se presentan bacterias del tipo acetogénicos que oxidan a compuestos orgánicos como (etanol, láctico, propiónico, butírico y valérico) como los principales (Navarro, 2016)

2.5 Fermentación de carbohidratos solubles

La fermentación de carbohidratos solidos se presenta en diferentes microorganismos, donde interviene la fermentación de los azúcares presentes, entre los más nombrados para esta actividad degradativa tenemos a los del género *Clostridium* el cual cumplen como función principal convertir la glucosa en acético, butírico, CO_2 y H_2 . Existe una ruta denominada Embden-Meyerhof que convierte la glucosa en piruvato y el Piruvato se transforma el CO_2 y el Acetil-CoA. (Rios, 2013)

2.6 Fermentación de aminoácidos

Los principales microorganismos que actúan en esta etapa encontramos a los del género *Clostridium*, aunque se han reportado que interactúan con otras especies como las Bacteroides y Peptococcus. El principal producto que genera la acción de fermentación de los aminoácidos es que generan H_2 , aminovalerico y ácidos grasos de cadena corta. Este

proceso se realiza de forma rápida. Además, generan una serie de compuestos orgánicos y que procederán de acuerdo al aminoácido procedente; Así; tenemos como resultado al CO₂, NH₃ y un ácido carboxílico (ácido isobutírico, caproico, isovalérico, metilcaptano, putrescina, sulfuro de hidrogeno, n-butírico, entre otros). (Vermehren, 2014)

2.7 Oxidación anaerobia de ácidos grasos de cadena larga

En esta etapa sucede el fenómeno denominado β -oxidación, que transforman los ácidos grasos de cadena larga a cortas. Aquí los ácidos grasos libres son transformados en tio-ester-CoA, hecho que fue generado porque los mismos atravesaron la pared celular, dándose la reacción.

Para Bautista, (2010) Uno de los productos principales de la reacción anaeróbica de los ácidos grasos de cadena larga es el ácido acético, ocasionándose porque en el proceso β -oxidación, este tiene forma espiral y durante el proceso oxidativo de la materia orgánica va generando un acetyl-Co-A en cada bucle.

En procesos donde el mecanismo de fermentación sea anaeróbico, las condiciones termodinámicas suelen ser desfavorables ya que en su acción dependen mucho de la presión que ejerza el átomo de hidrogeno al sistema, tomándose en cuenta la presencia de microorganismos simbióticos que produzcan hidrogeno.

2.8 Etapa acetogénica

los microorganismos que representan a esta etapa son principalmente bacterias *Syntrophomonas wolfei* y *Syntrophobacter wolini*, las mismas que son considerados como microorganismos acetogénicos. (Moncayo, 2008) Que cumplen la función de producir productos sencillos como el H₂ y el acetato a partir de compuestos como (valerato, propionato, butirato, compuestos aromáticos y al etanol entre los más importantes) a diferencia de otros productos que son fermentados directamente a través de organismos metanogénicos mediante su propio metabolismo (acetato y H₂).

2.9 Etapa metanogénica

Vermehren (2014), asegura que para que este tipo de microorganismos metanogénicos cumplan su función anaeróbica se necesita compuestos que estén unidos por enlace covalente ya sean estos del tipo monocarbonados o de carbono doble (dos átomos de carbono), por ejemplo; metilaminas, H₂/CO₂, metanol, acetato, entre otros, que son transformados a través de la digestión anaeróbica que realizan las bacterias del género

Archaea. Este tipo de bacterias se caracterizan por tener entre diferentes coenzimas, que participan en el último proceso antes de producirse el metano, donde se puede citar a la coenzima M.

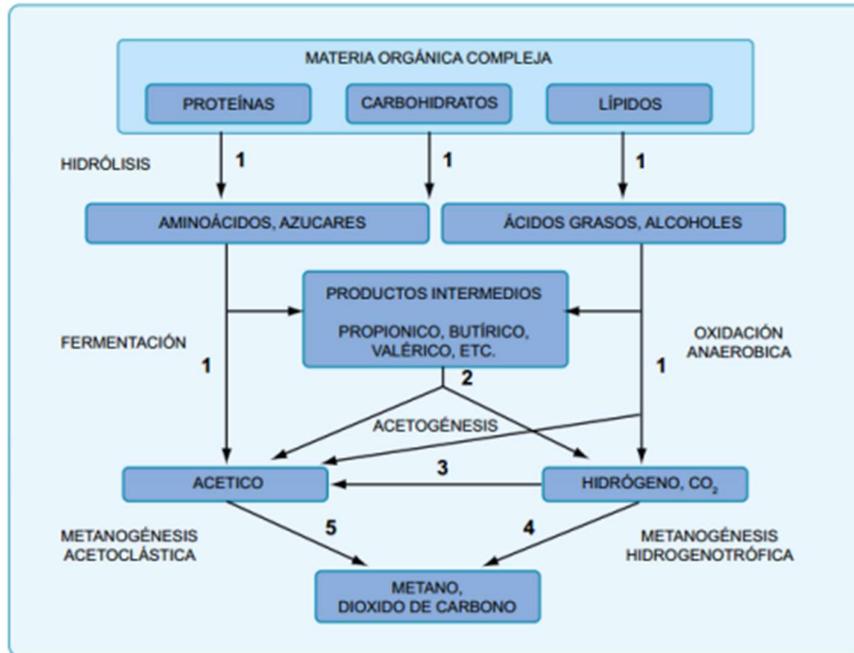


Figura 2 Esquema de reacciones de la digestión anaerobia de materiales poliméricos

2.10 Biofertilizantes

Según Figueroa (2013), uno de los productos que genera la fermentación orgánica son los denominados biofertilizantes que se pueden utilizar en la recuperación de la capa arable del suelo, siendo de gran utilidad para la industria agraria, para con ello realizar las buenas prácticas agrícolas promoviendo sustentabilidad y sostenibilidad de los campos agrícolas. Los tipos de biofertilizantes o abonos orgánicos ha ayudado mucho a la investigación agraria ya que permite evaluar los efectos en la nutrición de la planta al aplicarlos directamente en el suelo sin perjudicar al medio ambiente como lo ocasionan los fertilizantes inorgánicos.

2.11 Biomasa

Según Bernabe (2015), Uno de los principales problemas el planeta es la utilización de los recursos o combustibles fósiles que perjudican al ambiente. Es en donde tiene la biomasa un rol importante para la conservación y protección de los recursos naturales, porque es una alternativa sustentable ya que genera energías alternativas que reemplazan

a los recursos no renovables o fósiles, donde uno de los principales representantes de este tipo de recurso natural es el denominado Biol.

De aquí la importancia de los recursos naturales ya que de sus residuos que se encuentran de manera abundante se puede obtener recursos o energía limpia, ya que a través de los procesos degradativos se puede aprovechar al máximo los desechos orgánicos que generalmente producimos en nuestros hogares, utilizándolos para recuperación de suelos o como biofertilizantes en la producción agraria.

2.12 pH óptimo

A partir de lo que nos dice Gutiérrez (2013), para que funcione de manera óptima el sistema o el biodigestor se tiene que poseer un pH entre 6.5 a 7.5 para que las bacterias metanogénicas realicen su trabajo degradativo en condiciones favorables, ya que al presentarse un elevado o disminuido pH determinan la toxicidad o inhibición de las mismas, realizando su trabajo de una manera más rápida.

2.13 Temperatura de crecimiento de los microorganismos

Según Moncayo, (2008) La temperatura es uno de los parámetros fundamentales para el manejo del sistema, ya que si no se tiene temperaturas adecuadas están incidirán en la producción de biogás, por ejemplo, ya que al tener mayor temperatura los microorganismos se reproducirán mejor y de una manera más rápida lo que genera una mayor cantidad de biogás. La digestión anaeróbica de los microorganismos funcionara mejor si se tiene en cuenta la temperatura, tanto así que (Gutierrez, 2013) sugiere los siguientes rangos; microorganismos psicrófilos pueden trabajar con temperaturas inferiores a los 25°C; microorganismos mesófilos se sugiere rangos entre 25 y 45°C; y termófilas temperaturas entre 45 y 65°C.

2.14 Biodigestor tubular

Este tipo de biodigestor se caracterizan porque sus estanques alargados están formados o contruidos con goma o polietileno, poseen un sistema de flujo continuo de líquidos, lo que indica que cada flujo de líquido que entra al sistema no se mezcla con ninguna otra porción. En cada sección del biodigestor la producción del biogás es variable debido a que las propiedades tanto químicas, físicas y bacteriológicas cambia debido a que el líquido tiene un flujo continuo dentro del biodigestor (Vermehren, 2014).

Actualmente existen dos tipos de biodigestores tubulares los cuales se han clasificados de acuerdo a la cantidad del material a degradar se valla a utilizar. Así tenemos a los biodigestores del tipo taiwanés o salchicha que son sencillos y alargado, y a los biodigestores afluentes que son utilizados donde habrá una mayor cantidad de material orgánico, por ende, una mayor cantidad de microorganismos. (Hilbert, 2006)

A estos últimos se los utiliza preferentemente en la industria porcina y bovina, donde la presencia de bacterias es mayor. El sistema tiene una vida útil promedio entre 10 a 15 años, claro está que dependerá la prolongación del mismo si se tuvo en cuenta el material utilizado para el trabajo, construcción y manejo del biodigestor. (Preston, 2005)

2.15 Factores de Construcción

En la construcción de biodigestor se emplean diferentes materiales, suelen colocarse de manera horizontal o verticalmente. Algunos de estos se encuentran enterrados en el suelo, otros sobre el nivel del mismo. (FAO, 2011) Se presenta el gasómetro o también denominado campana que ejerce presión y que cumple la función de almacenar el gas que se produce, suelen construirse principalmente de metal y pueden ser flotantes o móviles.

Antes de colocar la materia orgánica a biodegradarse se prepara la misma mezclándola con agua en un tanque de carga que dispone, para luego colocarla en el fondo del biodigestor a través de un ducto. (Olaya, 2009) recalca que, el tamaño del estanque debe ser proporcional a la cantidad de materia prima a utilizar, donde la temperatura mínima debe ser de 90 y máximo a 180 C. (Toala, 2013)

2.16 Selección del lugar a construirse

Según Preston (2005), se debe de tomar en cuenta las siguientes recomendaciones;

- 1) La entrada al lugar de trabajo debe ser fácil durante el año.
- 2) El digestor debe de estar protegido a presencia de fuertes vientos.
- 3) Verificar áreas donde no haya inundaciones.
- 4) El agua debe de ser constante, por lo que es importante verificar su disponibilidad.
- 5) En caso de retirado de la carga, que facilite su traslado completo.
- 6) No se recomienda colocar el biodigestor en suelos con niveles freáticos altos.
- 7) Tomar en cuenta la proximidad de la colocación del estiércol, gas de consumo con el sitio escogido para la colocación del digestor.

- 8) En caso de utilización de material fecal animal, el digestor debe estar a más de 30 0 40 metros aproximadamente del establo.
- 9) Escoger sitio donde la insolación sea elevada.
- 10) La fuente de agua debe de estar a menos de 15 metros mínimo del digestor.
- 11) Para la carga y descarga de materiales o materia prima a utilizar en el digestor, se debe tomar en cuenta zonas con cierto declive para optimizar el trabajo a realizar.

2.17 Estructura de un biodigestor

(Herrero, 2008) Indica que, la estructura del digestor consta de;

Cámara de fermentación; sirve de almacenamiento de la materia prima en la descomposición

Cámara de almacenamiento de gas; Lugar donde se concentran los gases producidos de la fermentación del material orgánico utilizado.

Pila de carga; ducto donde ingresa la materia prima o biomasa

Pila de descarga; lugar donde se encuentran los materiales sólidos gastados que se convertirán en abonos orgánicos, salida del digestor.

Agitador; sirve para mezclar de manera homogénea todos los residuos que estén en el fondo del estanque y así sean aprovechados al máximo.

Tubería de gas; tubo donde se conecta a estufa para la recolección del gas

2.18 Aspectos a tener en cuenta en el dimensionamiento de una planta de biogás

Navarro, (2016) menciona que, tener en cuenta el tamaño de la construcción de la planta, se considera algunos aspectos predeterminados de acuerdo a la funcionalidad que vaya a tener la misma. Así, por ejemplo, los siguientes aspectos a mencionar son los idóneos para una planta pequeña y sencilla;

- a) Cantidad de materia prima diaria a fermentar
- b) Tiempo que dura la fermentación o de retención (TR)
- c) Cantidad de biogás producida durante el día.

2.19 Conceptos y valores característicos

Para (Arevalo, 2015) estos son algunos aspectos que se debe toma en cuenta:

- a) Porcentaje de materia seca (MS o ST); la cantidad de agua presente en cada fermentación natural variara esto de acuerdo al tipo de material utilizado, por ello en ciertas investigaciones donde se recomienda menor margen de error se recomienda la utilización de la materia seca o materia sólida.
- b) Masa orgánica seca (MOS o SVT); se recomienda solo utilizar la parte orgánica de la materia seca durante el proceso de fermentación, ya que al ser más volátiles facilitan el proceso degradativo.
- c) Carga del digestor; indica la cantidad de material fermentado al día, la caga del digestor se calcula con la formula $(\text{kg MOS} / \text{m}^3 \text{ día})$. Lo que indica la masa orgánica/ m^3 por día. Se recomienda que para la carga del digestor en plantas pequeñas sea de $1.5\text{m}^3/\text{día}$. Mientras que para plantas grandes 5m^3 . El pH del sistema bajara si la carga del digestor es excesivamente elevada.
- d) En ocasiones la planta se acidifica o se queda estancada, porque hay poca presencia de bacterias en la gran cantidad de material a fermentar.
- e) Tiempo de fermentación o de retención (TR); tiempo total necesario en que la materia prima permanece en la planta hasta producir el biogás.
- f) La cantidad de gas obtenido es proporcional a la cantidad de materia orgánica a fermentar, masa seca o materia seca, siempre y cuando se tome en cuenta los parámetros de tiempo de retención de la misma y temperaturas adecuadas.
- g) El porcentaje o grado de fermentación, permite especificar la cantidad de material fermentado o que aún no lo ha sido. Por ejemplo, en plantas pequeñas normalmente casi nunca se aprovecha la totalidad de la materia prima, llegando al grado de solo el 50 % de aprovechamiento.
- h) Hoy en demanda de oxígeno bioquímico para el problema de aguas residuales es muy demandada, ya que nos ayuda a precisar el dimensionamiento o grado de su contaminación.

2.20 Dimensionamiento del Digestor

Para una mejor comprensión sobre el dimensionamiento del digestor es necesario explicar sobre la cantidad de carga, es decir la biomasa para la fermentación formada por el agua y el material o materia orgánica a utilizar. (FAO, 2011) Así:

Ejemplo:

La carga de fermentación en material de bovinos debe de tener una relación 1:1. Donde en 30 litros de agua debe haber 30 kg de estiércol resultando 60 litros de carga listos para iniciar la fermentación del mismo.

La siguiente formula es para encontrar el volumen requerido del biodigestor que se necesita: $VD (1) = Cf (1 / día) \times TR (días)$.

Al conocerse la cantidad de carga a colocar en el digestor, con esos datos se calcula el tiempo de retención; $TR (días) = VD (1) - Cf (1 / día)$.

Por consiguiente, si se conoce el total de la carga y el tiempo de retención entonces se podrá calcular el relleno diario así; $Cf (1 / día) = VD (1) - TR (días)$.

2.21 Tamaño del biodigestor

Para la determinación del mismo influyen aspectos como, número de animales, temperatura, cantidad de agua/animal.

2.21.1 Temperatura

Aspecto de suma importancia ya que de ella dependerá de la acción inmediata o digestión anaeróbica de los microorganismos, si predomina temperaturas altas, más rápido se multiplicarán el número de microorganismos haciendo que la degradación sea eficaz y rápida. Por ende, el tiempo de retención en el interior del digestor será menor (Arce, 2011).

Tabla 1 Tiempo de retención necesario en biodigestores para cada piso térmico.

Tiempo de retencion hidraulico	Caracteristicas
30-40 días	Clima tropical con regiones planas. Ej. Indonesia, Venezuela, América
40-60 días	Regiones calidas con invierno frios cortos. Ej. India, Filipinas, Etiopía
60-90 días	Clima temperado con inviernos frios. Ej. China, Corea, Turquía.

Fao, (2011) indica que en un sistema de carga diaria (régimen semicontinuo), el tiempo de retención va a determinar el volumen diario de carga que será necesario para alimentar al digestor, ya que se tiene la siguiente relación:

$$\frac{\text{Volumen del digestor (m}^3\text{)}}{\text{Tiempo de retención (días)}} = \text{Volumen de carga diaria m}^3 \text{ día}$$

Es decir que, para un tiempo de retención de 30 días, cada día se carga 1/30 del volumen total del digestor, y en promedio los residuos orgánicos y la masa microbiana permanecen 30 días dentro del sistema. La cantidad de biogás producido por un digestor dependerá, entre otros, de la cantidad de residuo cargado diariamente. (Herrero, 2008) Generalmente se trabaja con tiempos de retención entre 20 y 55 días y con cargas diarias de 1 a 5 kg de sólidos totales por metro cúbico de digestor. Por lo tanto, mientras menor sea el tiempo de retención, el tamaño del digestor se reduce y también los costos (Biogas, 2013)

2.21.2 Cantidad de Excretas o Aguas Residuales

En el caso de aguas residuales por animales se mide tomando en cuenta el total de agua utilizado para lavar las instalaciones de los mismos, su estado fisiológico y número de animales en el lugar que generan excreta. (Moreta, 2012)

Para medir o calcular las aguas residuales se recomienda medir por día los residuos generados en la explotación en puntos estratégicos de vertimiento o colección prácticamente establecidos. Aunque esta sea la manera más usada también se utiliza el método antes mencionado donde se toma en cuenta los aspectos de cantidad de animales, total de agua a utilizar, y sistema fisiológico del mismo. Para ello se presenta a continuación una tabla de consumo de agua para un tipo de animal en específico (Bautista, 2010).

Tabla 2 Consumo de agua según el tipo de explotación

Tipos de explotación	Consumo de Agua
CERDO ADULTA	15
CERDO ADULTO	15
CRIA	7

Fuente: (FAO, 2011)

Tabla 3 Producción de heces y orina en cerdos por cada cien kilos de peso vivo

Estado Fisiológico	Promedio (kg)
Hembra vacía	4.50
Hembra gestante	3.00
Hembra lactante	7.72
Macho reproductor	2.81
Lechón lactante	8.02
Precebos	7.64
Levante	6.26
Finalización	26.5

Fuente: (FAO, 2011)

Formula:

$$CE = P * E / 100$$

CE= Estiércol disponible en kg/día.

P= peso en kg del animal.

E= estiércol producido por cada 100 kg de peso del animal. (Toala, 2013)

2.22 Modelo horizontal.

La degradación anaeróbica ocurre a lo largo del biodigestor, en donde su cámara de digestión tiene forma alargada, su cámara de descarga y de carga respectivamente están situados en sus extremos, este sistema permite un aprovechamiento útil para la materia prima que requiere un mayor tiempo de fermentación, la forma alargada de este tipo de biodigestores permite que la inicial carga colocada y el afluente no se mezclen.

Mayormente utilizados por hogares campesinos, donde no tienen los recursos necesarios para fabricar un biodigestor tecnificado, es de fácil manejo y la construcción se los realiza mayormente con tubos alargados de polietileno. (Bautista, 2010)

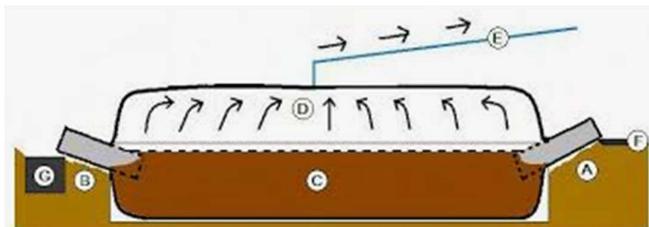


Figura 3 Biodigestor horizontal

Estos modelos horizontales son conocidos como biodigestores familiares de bajo costo, donde las familias campesinas que no tienen suficientes recursos optan por la

construcción este modelo, son fáciles de implementar utilizando plásticos tubulares de polietileno.

2.23 Partes principales del biodigestor de polietileno

2.23.1 *Tubo de admisión*

Regularmente se los encuentra con mediciones de 20 a 30 cm de diámetro, el tubo de admisión o tubo inicial es el inicio de la cámara de carga ya que en ella ingresa el sustrato, y para prevenir fugas del biogás producido, se recomienda sumergir a 15 cm (Moreta, 2012).

2.23.2 *Fermentador y bolsa de almacenamiento.*

La bolsa de almacenamiento en el biodigestor se encuentra ubicada en la parte superior. La cantidad de desechos o materia prima a fermentar es el que indicara el tamaño de la cámara del fermentador, en caso de que haya excesivamente mucho sustrato y para optimizar e incrementar la eficiencia se procede a la colocación de múltiples cámaras conectadas por tuberías, aunque claro está que el costo de instalación se eleve (Hilbert, 2006).

2.23.3 *Tubo del afluente.*

Se los encuentra con medidas entre 4 a 6 pulgadas de diámetro, su función es evitar el escape del biogás que se forma, debe sumergirse a 15 cm de profundidad de igual manera que el tubo de admisión (Forget, 2011).

2.23.4 *Tubo de metano*

Este tubo es el que se encuentra conectado con la bolsa de almacenamiento, sirve como medio de conducción del biogás, para drenar la humedad condensada que se produce, en la salida del tubo de metano tiene que estar sumergida en agua (Herrero, 2008).

2.23.5 *Dispositivo de seguridad.*

El dispositivo de seguridad tiene como función regular la presión en el biodigestor, por lo que su presencia es muy importante si se quiere evitar alguna ruptura. También se la denomina válvula de presión artesanal (García, 2017).

2.24 Instalación.

Como primer paso será de realizar una zanja, que ayudará a regular la temperatura en el interior del biodigestor, con esto se busca que el sistema ingrese de adecuada en el suelo. Se sigue con la colocación en los extremos los tubos afluentes y de admisión, para luego

proseguir con el tubo de conducción que sirve para transportar el gas producido mientras en la parte superior se instala la válvula de presión. Para luego echar en marcha la degradación de los sustratos una vez que son introducidos (FAO, 2011).

2.25 Mantenimiento

Si los materiales del biodigestor son plásticos lo único que hay que tomar en cuenta es la ruptura de alguna de sus partes, pero para ello se puede utilizar adhesivos que permitan reparar el mismo. Con uso correcto normalmente tienen vida útil de 5 años (Moncayo, 2008)

2.26 Relación biogás por tipo de residuo animal

Las disponibilidades de materia prima o estiércol producidos por día dependerá del tipo de animal de donde provenga, y para una mejor comprensión sobre las proximidades de biogás a obtener se realiza la siguiente tabla (Toala, 2013).

Tabla 4 Relación biogás generado por cada kg de estiércol

Tipo de animal	Estiércol		Volumen de biogás	
	Disponibilidad kg/día	Relación c/n	m ³ /kg húmedo	m ³ /día/año
Bovino (500kg)	10.00	25:1	0.004	0.0400
Porcino (50kg)	2.25	13:1	0.003	0.0675
Aves (2kg)	0.18	19:1	0.008	0.0014
Ovino (32kg)	1.50	35:1	0.005	0.0080
Caprino (50kg)	2.00	40:1	0.005	0.0100
Equino (450kg)	10.00	50:1	0.004	0.0400
Conejo (3kg)	0.35	13:1	0.006	0.0021
Excretas humanas	0.40	3:1	0.006	0.0025

Fuente: (Toala, 2013)

$$TA * ED * VB$$

Donde:

TA= tipo de animal kg

ED= estiércol disponible

VB= volumen biogás

Proporción adecuada de mezclas de estiércol con agua.

(FAO, 2011) asegura que se debe tener en cuenta que estos materiales se incorporan al biodigestor diluidos en agua. La cantidad de agua a agregar dependerá de la cantidad de sólidos totales de las excretas frescas y del tipo de carga, es decir, si se opera con cargas diarias (semicontinua) o con sistemas estacionarios (discontinuos o batch). Cuando se utilizan biodigestores rurales pequeños de carga semicontinua, en forma práctica se recomiendan las siguientes mezclas:

Tabla 5 Proporción adecuada de mezclas de estiércol con agua

Tipo de animal	Estiércol: agua
Bovino	1:1
Porcino	1:3
Aves	1:3

Fuente: (Arce, 2011)

3 MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación

El presente trabajo se realizó desde diciembre del 2020 a marzo del 2021, en la finca San Luis, propiedad del señor Luis Parrales, ubicada en la comuna El Tambo, parroquia Ancón perteneciente a la provincia de Santa Elena; la misma está situada a una altitud de 4 msnm ubicando geográficamente el punto central del área de la finca en las siguientes coordenadas: Latitud -2.28726 Sur; Longitud $-80.858606'$ Oeste.

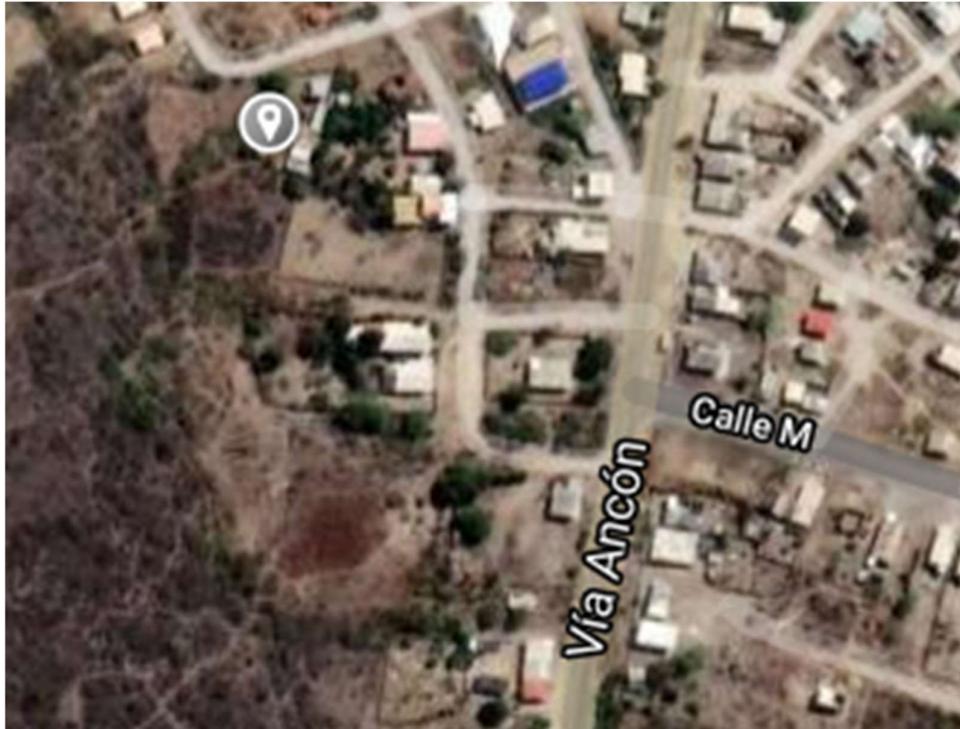


Figura 4 Ubicación geográfica de la granja “San Luis”

Fuente: Google Maps y Earth

3.2 Materiales

Los principales materiales y equipos utilizados para la presente investigación se detallan a continuación.

Tabla 6 Materiales para obtener resultados del funcionamiento del biodigestor

Ítems	Materiales	Cantidad
1	LAPTOP	1
2	CUADERNILLO	1
3	ESFERO	1
4	CINTA	1
5	SOFTWARE MICROSOFT EXCEL	1
6	TERMOMETRO	1

Fuente: Elaboración propia

3.3 Metodología del proyecto

Este estudio tiene un modelo metodológico de tipo no experimental (observacional). En el que se pudo observar lo que ocurrió en todo el proceso del funcionamiento del biodigestor, para el estudio ya mencionado se debe tener como prioridad alcanzar el objetivo planteado el grado de precisión que se desea obtener y la información que se logre recolectar, por tal motivo existen dos fases en el proyecto que son: el estudio del reconocimiento, de factibilidad y metodología usada en el trabajo.

3.3.1 Estudio de reconocimiento

Es el primer factor para considerar con la finalidad tener un conocimiento del sitio y el motivo del trabajo a realizar, en principio un estudio de reconocimiento tiene el objetivo de elaborar una estimación de la factibilidad económica y técnica del proyecto.

En este apartado se realizó el reconocimiento del área de la finca, donde se identificaron las áreas a analizar, la información de las mismas a recolectar para eventuales mejoras.

3.3.2 Estudio de Factibilidad

El estudio de factibilidad o preliminar es lo que continua del estudio de reconocimiento. Se realiza, para conseguir determinar las dimensiones del problema, y de igual manera la estimación de costos y beneficios del proyecto. Generalmente este estudio tiene a producir varias alternativas a considerarse al nivel de anteproyecto, y que previo a la ejecución de mismo son evaluadas para determinar las más convenientes. En este punto se propuso un

estimado de tiempo de trabajo en las recolecciones de datos a analizar, y el personal destinado a las labores.

3.3.3. Metodología usada para el trabajo

Examinar el problema del manejo de residuos orgánicos en una granja no implica necesariamente tres etapas de investigación. Teniendo en cuenta la necesidad de resolver problemas, las fuentes y el análisis de los datos que hemos recopilado pueden pasar por alto la factibilidad y solo generar confianza en la generación del reconocimiento y ejecución del proyecto.

En esta sección se continúa ejecutando el proyecto, que incluye las siguientes actividades:

- Se socializó al personal encargado las labores a realizar.
- Se procedió reconocer las zonas de trabajo y se identificó los corrales y números de animales con los que se trabajó.
- Posteriormente se identificó los puntos del lugar de estudio, de cada parte del biodigestor se tomaron apuntes de la información encontrada.
- Luego se colocaron los datos en el ordenador para su procesamiento.
- Se clasificó la información tomada en el campo, con la finalidad de determinar las diferentes características del proyecto estiércol y agua
- Mediante la aplicación Microsoft Excel, y de acuerdo con la información temática recolectada se procedió a sacar cálculos de los beneficios que este genera.
- Para los cálculos de generación diaria de estiércol se utilizó la tabla 4 que indica la producción de heces y orina en cerdos por cada cien kilos de peso vivo, en relación al estado fisiológico y su promedio diario, de acuerdo a las investigaciones hechas por la (FAO, 2011). En la granja “San Luis” se utilizó el valor de: hembra vacía: 4,5kg, hembra lactante: 7.72kg, macho reproductor: 2.81kg y lechón lactante; 8.02kg
- Con los datos ya detallados se procedió hacer el cálculo pertinente para sacar el valor total de estiércol por día utilizando:
peso promedio de los animales x producción de excretas por cada 100 kilos de peso.
- Luego ese resultado se multiplica por el número de cerdos de cada estado fisiológico para sacar el resultado final
- Se procede hacer la sumatoria total para saber cuánto produce de estiércol diario la granja.

- Además, se calcula el agua utilizada por cada cerdo al día, dependiendo también del estado fisiológico de los animales, para sacar este cálculo se utiliza la tabla 3 en el que se detalla que: cada cerdo adulto utiliza 15 litros de agua y 7 litros los pequeños.
- Se procede hacer el cálculo utilizando los valores de referencia multiplicando por el número de cerdos.
- Luego se realiza una suma total que es con la que se trabajara en el digestor
Suma total = estiércol + cantidad de agua adultos + cantidad agua lechones
- También se calculó el Tiempo de retención recomendado (tabla 2) = 30 a 40 días en este caso se utilizaron 33 días tiempo en que el biodigestor estuvo apto para generar gas y biofertilizante. (75% lleno)
- Se procedió a realizar el cálculo total que fue el cálculo de estiércol + cantidad de agua adultos + cantidad de agua lechones multiplicado por el tiempo de retención.
- Luego se procedió a sacar el cálculo de la generación de gas que se produce diariamente en toda la granja, se toma en cuenta el número de cerdos, además se toma datos referenciales de la tabla 5 para sacar el valor aproximado de gas que se produce en la granja, la tabla dice que por cada 50kg de peso vivo de animal produce 2,5 en estiércol fresco y que este produce de gas 0,003 m³/kg.
- Además, se calculó el Biol obtenido en el que se basa la formula siguiente

$$Biol = EF - (EF * 0,17)$$

Donde:

EF= Estiércol Fresco

17%= 0,17 de solidos totales

- Luego se realizó la formula siguiente para determinar el biofertilizante que se genera diariamente en el biodigestor.

$$Biol = \text{kg estiércol fresco} \frac{1L}{1kg} (1) + \text{litros de agua} (3) = \text{biofertilizante al día}$$

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Capacidad del biodigestor

La capacidad del biodigestor es de 39 000 litros equivalentes a 39 m³ eso quiere decir que se establecerá la utilización del indicador 3:1 (tabla 5) que señala que por cada 1 kg de estiércol se utilizará 3kg de agua equivalente a tres litros de agua respectivamente (FAO, 2011), por tanto, el biodigestor llegará a su máxima capacidad utilizando el 25% de excretas frescas y un 75% de agua. A su vez se indica q esa es la capacidad total y que para su funcionamiento correcto debe ser llenado hasta un 75 % de la capacidad máxima del biodigestor para que dé lugar a la producción del biogás. Y que en este caso utilizable será 29 250 m³ del total.

Total:

VD = Volumen del digestor = 39 000L (39 m³)

VL = Volumen del líquido = 29 250 L (29.25 m³)

VG = Volumen del gas. = 9 750 (9.75 m³)

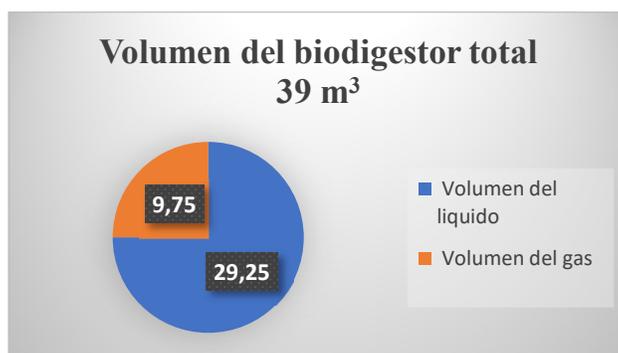


Figura 5 volumen del biodigestor total

Una vez investigado la capacidad del biodigestor, se pone en marcha la digestión anaeróbica, se hace un monitoreo constante del proceso para establecer el número de días utilizados en la degradación y producción de biogás y fertilizante.

Una vez realizada la práctica se concluye que el tiempo de retención necesario para la biodegradación de la materia orgánica en la granja Porcícola San Luis es de 33 días, este dato es esencial para el dimensionamiento, además se evidencia una muy buena producción de biogás, y lo más importante se redujo significativamente el olor del estiércol, por lo que se refleja una buena degradación del sustrato.

4.2 Cálculo de la generación de estiércol diario de la granja porcicola San Luis.

Para realizar el cálculo de la generación de estiércol que se produce diariamente en toda la granja, se toma en cuenta el número de cerdos (FAO, 2011) en este caso son 20 hembras sin gestación, 4 hembras lactantes, 1 macho reproductor y 40 lechones, adicionalmente de la Tabla 3 se toma el valor promedio de generación de estiércol por cerdo/día, y se procede a efectuar la operación en la tabla 7 detallada a continuación.

Tabla 7 cálculos producción total de estiércol en la granja “SAN LUIS”

Estado fisiológico	Producción de estiércol cómo % de peso vivo	No. de animales	Peso promedio, kg	Estiércol kg /cabeza/día	Producción total estiércol
Hembra vacía	4,50	20	160	7,20	144,00
Hembra lactante	7,72	4	190	14,67	58,67
Macho reproductor	2,81	1	200	5,62	5,62
Lechón lactante	8,02	40	3,5	0,28	11,23
Total		65	554	27,77	219,52

Fuente: Elaboración Propia

Calculo hembra vacía

Cantidad de excretas por animal por día = Peso promedio de los animales x Producción de excretas por cada 100 kilos de peso

$$= 160 \text{ kg} \times 4.50\%$$

$$= 7.20 \text{ kg}$$

Cantidad total de excretas producida por día = 7.20 kg x 20 cerdos
= 144.0 kg/día

Cálculo hembra lactante

Cantidad de excretas por animal por día = Peso promedio de los animales x Producción de excretas por cada 100 kilos de peso

$$= 190 \text{ kg} \times 7.72\%$$

$$= 14.67 \text{ kg}$$

Cantidad total de excretas producida por día = 14.67 kg x 4 cerdos
= 58.68 kg/día

Calculo macho reproductor

Cantidad de excretas por animal por día = Peso promedio de los animales x Producción de excretas por cada 100 kilos de peso

$$= 200 \text{ kg} \times 2.81\%$$

$$= 5.62 \text{ kg}$$

Cantidad total de excretas producida por día = 5.62 kg x 1 cerdo

$$= 5.62 \text{ kg/día}$$

Calculo lechón lactante

Cantidad de excretas por animal por día = Peso promedio de los animales x Producción de excretas por cada 100 kilos de peso

$$= 3.5 \text{ kg} \times 8.02\% \\ = 0.28 \text{ kg}$$

Cantidad total de excretas producida por día = 0.28 kg x 40 cerdos
= 11.2 kg/día

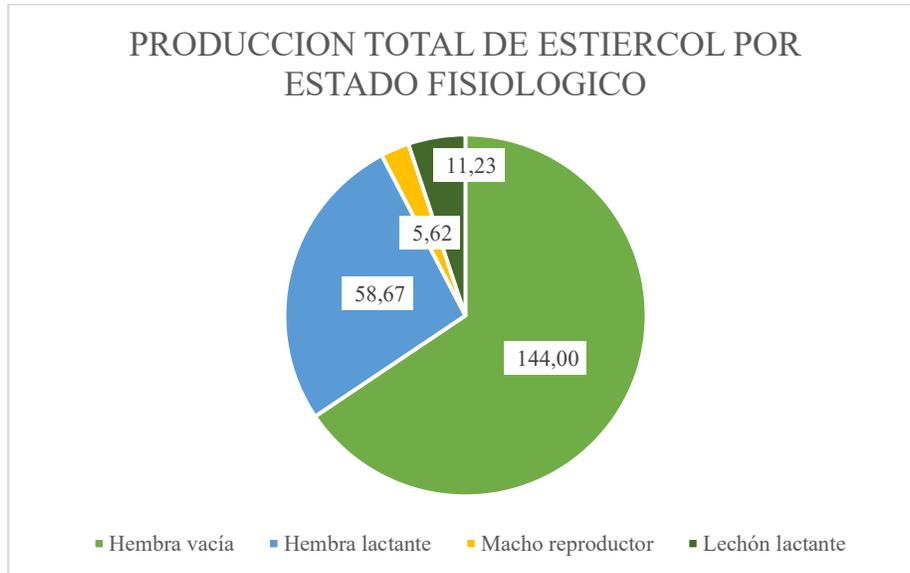


Figura 6 Producción total de estiércol por estado fisiológico

Sumatoria cálculos de cerdos = 219,52 kg = (219,52L)

Cantidad de agua usada en lavado cerdos adultos

$$= 15 \text{ litros/cerdo adulto} \times \text{número de cerdos} \\ = 15 \times 25 \\ = 375 \text{ litros}$$

Cantidad de agua por lechones

$$= 7 \text{ litros/lechón} \times \text{número de lechones} \\ = 7 \times 40 \\ = 280 \text{ litros}$$

Suma de agua reciclada = 655 l

Suma total = estiércol + cantidad de agua adultos + cantidad agua lechones

$$= 219.52L + 375L + 280L = 874.5L/día$$

Total, de agua residual a tratar = **874.5 litros/día**

Se asume en este caso que la densidad de las excretas (heces y orina) es muy cercana a 1.

Tiempo de retención recomendado (tabla 1) = 30 a 40 días (trabajaremos con 33 días)

Capacidad necesaria del llenado del biodigestor

$$= \text{litro} \times 33$$

$$= 874.5 \times 33$$

$$= 28\,859 \text{ Litros} = 28.86 \text{ m}^3$$

Se necesita un biodigestor que supere los 28.86 m³

Tabla 8 Cantidad de agua usada en lavado

CANTIDAD DE AGUA USADA EN LAVADO				
	Estado fisiológico	Litros C/U	Cantidad de cerdos	Consumo
	cerdos adultos	15	25	375
	lechones	7	40	280
	Total, consumo de agua			655
	Producción de estiércol por estado fisiológico			219,52
	Total, producción diaria de líquido en la granja			874.52

Fuente: Elaboración Propia

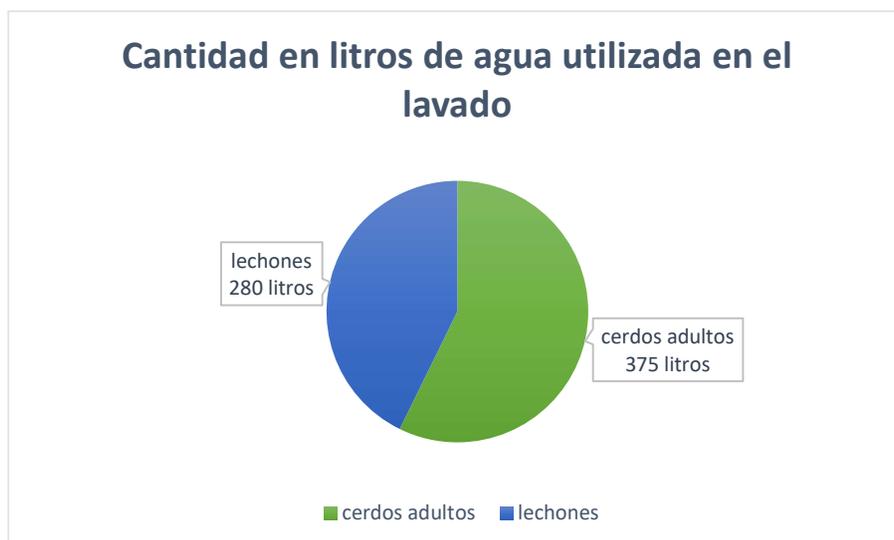


Figura 7 Cantidad de agua utilizada en el lavado

Cálculo de biogás generado por cada m³ de sustrato

Según Tóala, (2013) menciona que para realizar el cálculo de la generación de gas que se produce diariamente en toda la granja, se toma en cuenta el número de cerdos (20 hembras sin gestación, 4 hembras lactantes, 1 macho reproductor y 40 lechones) además se toma datos referenciales de la tabla 4 para sacar el valor aproximado de gas que se produce en la granja, la tabla dice que por cada 50kg de peso vivo de animal produce 2,25kg en estiércol fresco y que este produce de gas 0.003 m³/kg.

Cálculo de la granja:

Para este cálculo solo se tomará en cuenta el estiércol generado por el peso de los animales que es **219,5kg** (el cálculo de estiércol generado que menciona la tabla 4 en cuanto a volumen diario ya fue calculado en la tabla 7 para sacar el estiércol diario que produce la granja)

Calculo:

Entonces:

$$2.25\text{kg} \text{ ----- } 0,003 \text{ m}^3$$

$$219,52 \text{ kg} \quad \quad \quad \times$$

$$= \mathbf{0,29 \text{ m}^3 \text{ de biogás diario}}$$

$$= \mathbf{0.29 \text{ m}^3 \times 33 \text{ días es igual a } 9,57 \text{ m}^3}$$

Cálculo biofertilizante generado en la granja:

Según Martínez, (2012) en el proceso de la fermentación se perdió una fracción de sólidos totales. El estiércol fresco tiene entorno a un 17% de sólidos totales. El rango puede variar de 13 a 20%. Los sólidos totales representan el peso del estiércol una vez seco y por tanto es la carga real de materia sólida que se introducirá en el biodigestor. Para saber la cantidad de biofertilizante que podremos cosechar diariamente utilizamos la siguiente formula:

$$Biol = EF - (EF * 0,17)$$

Donde:

EF= Estiércol Fresco
 17%= 0,17 de solidos totales

Entonces:

$$\text{Biol} = 219,5 - (219,5 * 0,17) = 182,27 \text{ kg de estiércol fresco}$$

La cantidad de biofertilizante a cosechar diario considerando la relación estiércol: agua (1:3) de la mezcla será de:

$$\text{Biol} = 182.27 \text{ kg estiércol fresco} \frac{1L}{1k} (1) + 182.27 \text{ agua} (3) = 729.08L \text{ de biofertilizante al día}$$

$$729.08/1000 = 0,73 \text{ m}^3$$

Cálculos generación de biofertilizante y biogás en la granja San Luis día 33 de acumulación

Tabla 9 cálculos biofertilizante y biogás generado día 33

<u>Biofertilizante</u>	0,73 m ³	33 días	24.09 m ³
<u>Biogás</u>	0,29 m ³	33 días	9.57 m ³

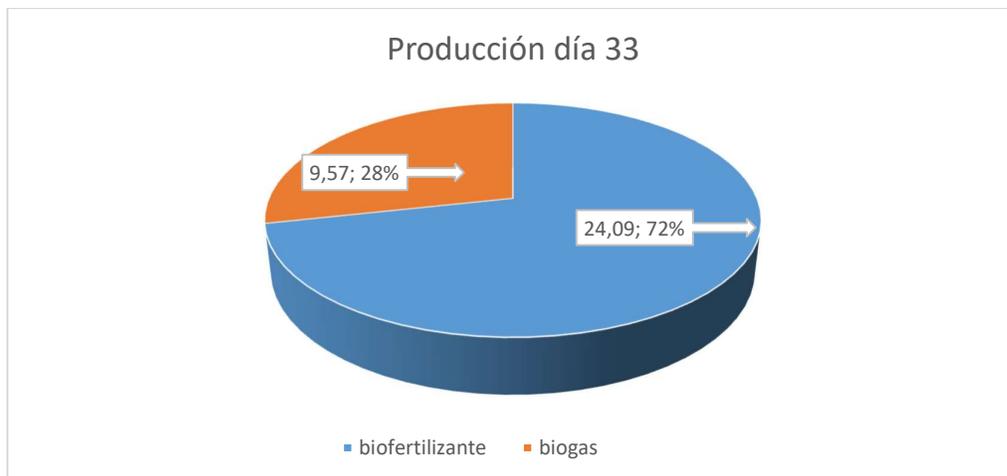


Figura 8 Producción total día 33

Presión:

El área de acumulación del biogás dentro del biodigestor equivale al 25% de su volumen total y el 75 % restante corresponde a la mezcla 3:1 (estiércol y agua). En efecto la estructura hecha con polietileno y su condición hermética impide que el biogás pueda fugar. (Biogas, 2013)

4.3 Agitación

Se suministró una agitación manual de biodigestor cada 2 días con el fin de evitar la sedimentación de la parte solida del sustrato y provocar la activación y mezcla de la parte microbiana contenida en el sustrato a digerir tal como lo sugiere Arce, (2011)

4.4 Factibilidad técnica del funcionamiento

Se realizó un análisis del funcionamiento del biodigestor, donde se determina la factibilidad técnica de uso. Para esta fase se realizó el conteo de cerdos en producción que diariamente producen estiércol así lo indico Reyes, (2017)

Tabla 10 Factibilidad técnica del biodigestor

Imágenes de la granja	Procesos del funcionamiento
	Corrales donde se encuentran los cerdos
	Tuberías dirigidas al biodigestor en la cuales circula diariamente el estiércol
	Primera caja donde cae el agua y estiércol al biodigestor



Segunda caja donde se realiza la unión de todas las tuberías para que vaya dirigida al biodigestor.



Biodigestor funcionando de forma normal a diario. Como la bolsa es plástica aunque está hecha para resistir algunas condiciones climáticas no está hecha para resistir maltratos, por lo que hay que cuidarla muy bien, recordemos que un pequeño agujero es suficiente para perder el gas y arruinar el Biodigestor por completo.



Después de la primera válvula de control se coloca una T con una salida apuntando hacia el suelo, en la salida que esta hacia abajo se coloca un pedazo de tubo de unas 6 o 7 pulgadas de largo que ira sumergida en un envase de refresco de 2 o 3 litros, este envase ira lleno de agua hasta la mitad o más arriba de manera que cubra la boca del tubo para evitar que se escape el gas por el mismo. La función de esta válvula formada por el tubo sumergido en el bote con agua es la de permitir el escape de gas cuando exista demasiada presión en la bolsa y evitar la explosión de la bolsa por acumulación de gas no utilizado.



Justo en la boca de cada tubo se construye una pila de bloques que sirven para sujetar la punta de los tubos de carga y descarga y para facilitar el llenado de la mezcla y recibir el Biol (abono foliar orgánico) en el extremo que sirva para descargar. Además, estas pilas deben estar tapadas para evitar que se hagan criaderos de insectos en las bocas de los tubos de carga y descarga. La pila de descarga debe estar más baja de nivel con respecto a la pila de carga para facilitar el recorrido de la mezcla hasta salir como Biol.



Techado del biodigestor para no maltratar el material con el que está hecho y así asegurar un buen funcionamiento por más tiempo, a su vez sirve de protector por las altas temperaturas que tenemos en nuestra provincia.

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Después de haber desarrollado el estudio de caso del biodigestor anaeróbico de la granja Porcicola SAN LUIS para la disminución de residuales contaminantes y el aprovechamiento de la producción de biogás y Biol, Se llegó a las siguientes conclusiones:

1. El volumen total del biodigestor, la cantidad de estiércol diario que genera la granja al día y el agua reutilizada del lavado diario fue de 39 m³, 219.52kg y 655.1L respectivamente.
2. El biodigestor generó al trigésimo tercer día 9,57 m³ de biogás y la producción de Biol en igual etapa de tiempo fue de 24.09 m³
3. Se mitigó los malos olores producto de la descomposición de la materia orgánica y proliferación de insectos como moscas y sancudos.
4. Se evitó la contaminación de los suelos y el agua, el excremento es uno de los elementos más contaminantes del medio ambiente.

Recomendaciones

1. Para el arranque del biodigestor se debe prever la utilización de una gran cantidad de inóculo (la tercera parte del volumen del digestor) para lograr resultados óptimos ya que arrancar un digestor de este tipo y además con los recursos limitados para la obtención de la materia orgánica fresca puede resultar como un gran inconveniente en el objetivo de obtener biogás.
2. Incentivar la iniciación científica de tal manera que se puedan realizar más proyectos de esta índole dentro de la población, asignando recursos a tiempo, evitando las trabas administrativas y permitiendo así al investigador dedicarse por completo a lo que es su estudio.
3. El dueño de la granja si desea aumentar el volumen de biogás que produce debería considerar otro tipo de estiércol y resto de cosechas presentes en la Granja.

BIBLIOGRAFÍA

Arce, J., 2011. *Diseño de un Biodigestor para generar Biogas y Bioabono a partir de desechos organicos de animales aplicable en laz zonas agrarias del litoral*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil (Tesis) .

Arevalo, W., 2015. *La Biomasa: Una alternativa energetica proveniente de la vida misma*. Colombia: Universidad Autonoma de Nariño.

Bautista, A., 2010. *Sistema biodigestor para el tratamiento de desechos orgánicos*. Madrid: UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID.

Bernabé, P. D. Í., 2015. Alternativas tecnológicas para la producción de biomasa en el pasto mombaza (*panicum maximum cv*) en Manglaralto Santa Elena. En: D. E. .: <http://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/2209>, ed. Santa Elena: tesis UPSE.

Biogas, M. d., 2013. *gobierno de chile*. [En línea] Available at: <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf> [Último acceso: 15 03 2021].

FAO, 2011. *Manual del Biogas*. 1 ed. Santiago de Chile: Proyecto CHI/00/G32 .

Fernández, A. R., 2002. *Ecología para la agricultura*. 1 ed. España: Mundi-Prensa.

Figuroa, C. D., 2013. CREACIÓN DE UNA PLANTA ARTESANAL DE BIOFERMENTOS EN LA COMUNA CEREZAL BELLAVISTA DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA. En: D. E. <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/1253/1/CREACI%C3%93N%20DE%20UNA%20PLANTA%20ARTESANAL%20DE%20BIOFERMENTOS%20EN%20LA%20COMUNA%20CEREZAL%20BELLAVISTA%20DE%20LA%20PROVINCIA%20DE%20SANTA%20ELENA%20C.pdf>, ed. LA LIBERTAD – ECUADOR: TESIS UPSE, p. 38.

Forget, A., 2011. *Manual de diseño y de difusión de biodigestores familiares, con enfoque en biodigestores tubulares*. Lima: s.n.

García, R., 2017. *DISEÑO DE UN BIODIGESTOR TUBULAR PARA ZONAS RURALES DE LA REGIÓN PIURA*. PIURA: Universidad de Piura, Departamento de Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Laboratorio de Energía.

Gutierrez, T., 2013. *Evaluación de las tecnologías de purificación del biogás*. Peru: UNIVERSIDAD NACIONL DE INGENIERIA.

Herrero, M. E., 2008. *Guía de diseño y manual de instalación*. 1 ed. LA PAZ, BOLIVIA: cooperación Técnica Alemana (GTZ)-(Programa de Desarrollo Agropecuario (PROAGRO).

Herrero, M. J., 2008. *Biodigestores familiares: guía de diseño y manual de instalación*. La Paz: s.n.

Hilbert, J., 2006. *MANUAL PARA LA PRODUCCION DE BIOGAS*. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria..

Koeslag, J. H., 2012. *Manuales para educación agropecuaria: Porcinos*. Cuarta D.E: <http://bibliotecas.upse.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-ISBDdetail.pl?biblionumber=12487> ed. México D.F.: Trillas.

Martinez, L., 2012. *El Estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el Medio Ambiente*. 3 ed. España: Ministerio de Agricultura Pesca y Ganadería.

Moncayo, G., 2008. *Dimensionamiento y diseño de biodigestores y plantas de biogas*. Argentina, El Rosario: Aquua Limpia.

Moreta, M., 2012. *Diseño de un Biodigestor de estiércol porcino para una granja agrícola*. Ingeniero Ambiental ed. Quito: univesidad Salesiana .

Navarro, A., 2016. *Digestión de Residuos Orgánicos. Obtención de Biogás a Partir de Residuos agrícolas y de producción*. Tenerife- España: Universidad de la Lagun.

Olaya, Y. & G. L., 2009. *Fundamentos para el diseño de biodigestores. Módulo para la asignación de constructores agrícolas..* PALMIRA: UNAL.

Potschka, J., 2012. Biodigestores y Energía Limpia. *Revista Producir XXI*, XXI(244), pp. 26-32..

Preston, T., 2005. *Los biodigestores en los sistemas agrícolas ecológicos*. 21 ed. LEISA: Rey Agroecol.

Reyes, E. A., 2017. *Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos..* 62 ed. Nicaragua: FAREM-Esteli. Medio ambiente, tecnología y desarrollo humano,.

Rios, M., 2013. *Estimación de la Producción Potencial de Biogás a Partir de Purines Bovinos en la Región de Los Ríos*. 1 ed. Valdivia, Chile: Instituto de Medicina Preventiva Veterinaria, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Austral de Chile.

Toala, E., 2013. *DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DE POLIETILENO PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGAS A PARTIR DE ESTIERCOL DE GANADO EN EL RANCHO VERONICA*. Ecuador-Riobamba: Escuela Superior Politecnica del Chimborazo (Tesis).

Vereda, A., Gómez, C. & García, F. y. R. J., 2006. *Producción de biogas a partir de residuos vegetales (I) características, etapas y limitaciones*. 1 ed. MEXICO: Dpto. de ingeniería Química universidad .

Vermehren, M., 2014. *Estimación del potencial de producción de biogas en la región de Los Ríos a partir de residuos biodegradables*. 1 ed. Chile: Universidad Austral .