

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



TEMA DE INVESTIGACIÓN:

“EVALUACIÓN DE UN EFLUENTE LÍQUIDO OBTENIDO MEDIANTE BIODIGESTORES CON DIFERENTES TIEMPOS DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (TRH)”

NOMBRE:

Alvaro Xavier Palacios Ocaña.

TUTOR:

Ing. Mg. Manolo Muñoz

CEVALLOS- ECUADOR 2020

“El suscrito, ALVARO XAVIER PALACIOS OCAÑA, portadora de cédula de identidad número: 180550097-0, libre y voluntariamente declaro que el Informe Final del Proyecto de investigación titulado: “EVALUACIÓN DE UN EFLUENTE LÍQUIDO OBTENIDO MEDIANTE BIODIGESTORES CON DIFERENTES TIEMPOS DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (TRH)” es original, autentico y personal. En tal virtud, declaro que el contenido es de mi sola responsabilidad legal y académica, excepto donde se indican las fuentes de información consultadas”.



Alvaro Xavier Palacios Ocaña

Al presentar este Informe Final del Proyecto de Investigación titulado “EVALUACIÓN DE UN EFLUENTE LÍQUIDO OBTENIDO MEDIANTE BIODIGESTORES CON DIFERENTES TIEMPOS DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (TRH)” como uno de los requisitos previos para la obtención del título de grado de Ingeniera Agrónoma, en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Ambato, autorizo a la Biblioteca de la Facultad, para que este documento esté disponible para su lectura, según las normas de la Universidad.

Estoy de acuerdo en que se realice cualquier copia de este Informe Final, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica potencial.

Sin perjuicio de ejercer mi derecho de autor, autorizo a la Universidad Técnica de Ambato la publicación de este Informe Final, o de parte de él”.

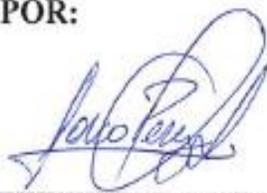


Alvaro Xavier Palacios Ocaña

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

“EVALUACIÓN DE UN EFLUENTE LÍQUIDO OBTENIDO MEDIANTE BIODIGESTORES CON DIFERENTES TIEMPOS DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (TRH)”

APROBADO POR:



Ing. Mg. Marco Pérez

PRESIDENTE DE TRIBUNAL

Fecha

05-02-2020



Ing. Mg. Segundo Curay

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE CALIFICACIÓN

05-02-2020



Ing. Mg. Marco Pérez

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE CALIFICACIÓN

05-02-2020

AGRADECIMIENTO

Mi reconocimiento a la Universidad Técnica de Ambato, de manera muy especial a la Facultad de Ciencias Agropecuarias, por haberme acogido en sus aulas del saber, las mismas que sirvieron para enriquecer mis conocimientos, y brindarme un futuro profesional que será parte de mi vida y cumplir con mi más anhelada meta que es mi carrera profesional de Ingeniero Agrónomo.

A mi tutor Ing. Mg. Manolo Muñoz E. quién me brindó todo su apoyo y conocimientos para culminar la investigación, como también a los Ing. Mg. Segundo Curay. Asesor de Biometría e Ing. Mg. Marco Pérez. Asesor de Redacción Técnica quienes supieron en su determinado momento asesorarme para que los resultados alcanzados en el trabajo de investigación sean fructíferos.

A todos mis compañeros de aula con quienes compartimos gratos momentos durante los semestres de estudio.

A todos un gracias.

DEDICATORIA

A Dios, por las bendiciones recibidas a lo largo de mi vida, por ser él quien me permite a diario seguir adelante para cumplir cada uno de mis sueños y cada meta trazada en mi vida.

A mis padres Moreiba y Nasareno, quienes me enseñaron que la vida no es fácil, pero que con perseverancia, empeño, dedicación y esfuerzo se puede lograr todo lo que nos proponemos. A mi madre gracias por siempre apoyarme y estar en cada instante de mi vida. A mi padre gracias por enseñarme que de los errores se aprenden y que nunca es tarde para empezar de nuevo y ser mejores personas, a pesar de las adversidades siempre está junto a mí.

A mis hermanas Raquel y Gabriela con quienes juntos de la mano, caminamos por los senderos de la tristeza, alegría y las travesuras de la niñez, quienes como ellos para comprender este sueño que hoy es una realidad, gracias por sus palabras de aliento y su ayuda.

Índice de contenido

CAPÍTULO I1

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA O MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	3
2.2. CATEGORIAS FUNDAMENTALES O MARCO CONCEPTUAL.....	5
2.2.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	5
2.2.2. VARIABLE DEPENDIENTE.....	9
2.2.3. UNIDAD DE ANÁLISIS	12
CAPÍTULO III.....	14
HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	14
3.1. HIPÓTESIS.....	14
3.2. OBJETIVOS.....	14
3.2.1. OBJETIVO GENERAL	14
3.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
CAPÍTULO IV.....	15
MATERIALES Y MÉTODOS	15
4.1. UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO (ENSAYO).....	15
4.2. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR.....	15
4.2.1. Clima.....	15
4.2.2. Suelo	15

4.2.3.	Agua.....	16
4.3.	EQUIPOS Y MATERIALES.....	16
4.3.1.	Materiales de la zanja.....	16
4.3.2.	Materiales del biodigestor.....	16
4.3.3.	Materiales del invernadero.....	20
4.3.4.	Materiales para el ingreso de carga diaria.....	20
4.3.5.	Otros materiales.....	21
4.3.6.	Equipos.....	22
4.4.	FACTORES EN ESTUDIO.....	22
4.5.	TRATAMIENTOS.....	22
4.6.	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	22
4.7.	MANEJO DEL EXPERIMENTO.....	23
4.7.1.	Selección del lugar.....	23
4.7.2.	Muestreo de las excretas del ganado.....	24
4.7.3.	Diseño de los biodigestores.....	25
4.7.4.	Construcción de los biodigestores.....	25
4.7.5.	Requerimiento del área.....	25
4.7.6.	Nivelación y trazado del ensayo.....	25
4.7.7.	Excavación de las zanjas.....	25
4.7.8.	Construcción del invernadero.....	25
4.7.9.	Colocación del aislamiento de la zanja.....	25
4.7.10.	Colocación del biodigestor en la zanja.....	25
4.7.11.	Instalación de sensores.....	25

4.8.	VARIABLES RESPUESTAS.....	25
4.8.1.	Temperatura.....	25
4.8.2.	pH.....	25
4.8.3.	Conductividad eléctrica.....	26
4.8.4.	Análisis del laboratorio.....	26
4.9.	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	26
	CAPÍTULO V.....	27
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
	CAPÍTULO VI.....	30
	CONCLUSIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS.....	30
6.1.	CONCLUSIONES.....	30
6.2.	BIBLIOGRAFÍA.....	31
7.3.	ANEXOS.....	36
	CAPÍTULO VII.....	38
	PROPUESTA.....	38
7.1.	DATOS INFORMATIVOS.....	38
7.2.	ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.....	38
7.3.	JUSTIFICACIÓN.....	38
7.4.	OBJETIVOS.....	39
7.6.	FUNDAMENTACIÓN.....	39
7.7.	METODOLOGÍA, MODELO OPERATIVO.....	40
7.7.1.	Selección del lugar.....	40
7.7.2.	Muestreo de las excretas del ganado.....	41

7.7.3.	Diseño de los biodigestores.....	42
7.7.4.	Construcción de los biodigestores.....	42
7.7.5.	Requerimiento del área	42
7.7.6.	Nivelación y trazado del ensayó.	42
7.7.7.	Excavación de las zanjas.....	43
7.7.8.	Construcción del invernadero	44
7.7.9.	Colocación del aislamiento de la zanja	44
7.7.10.	Colocación del biodigestor en la zanja	44
7.7.11.	Instalación de sensores.....	44
7.7.12.	Materiales de la zanja.....	44
7.7.13.	Materiales del biodigestor.....	44
7.7.14.	Materiales del invernadero.....	44
7.7.15.	Materiales para el ingreso de carga diaria.....	44
7.7.16.	Otros materiales	44
7.7.17.	Equipos.....	44
7.8.	ADMINISTRACIÓN	44

Índice de tablas.

Tabla 1. Tiempo de retención hidráulico de estiércol de ganado en distintas regiones

.....
6

Tabla 2. Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica

7

Tabla 3. Relación Carbono/Nitrógeno

.....
8

Tabla 4. Concentración de nutrientes de estiércol fresco

.....
10

Tabla 5. Requerimientos de agua para la preparación de la materia prima según estiércol.....

10

Tabla 6. Tiempo de retención según la temperatura para un mejor fertilizante

.....
11

Tabla 7. Composición del biofertilizante

11

Tabla	8.	Planteamiento	de	los	tratamientos
						20
Tabla	9.	Dimensiones	de	los	biodigestores anaeróbicos.....	
						21
Tabla	10.	Resultados	de	las	variables con los diferentes tratamientos.....	
						29
Tabla	11.	Dimensiones	de	los	biodigestores anaeróbicos.....	
						41

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Prueba de Tukey 5% para volumen radicular a los 30 días.	; Error!
Marcador no definido.	
Ilustración 2. Prueba de Tukey 5% para volumen radicular a los 45 días.	; Error!
Marcador no definido.	
Ilustración 3. Prueba de Tukey 5% para volumen radicular a los 60 días.	; Error!
Marcador no definido.	

Ilustración 4. Prueba de Tukey 5% para peso radicular a los 30 días. **¡Error! Marcador no definido.**

Ilustración 5. Prueba de Tukey 5% para peso radicular a los 45 días. **¡Error! Marcador no definido.**

Ilustración 6. Prueba de Tukey 5% para peso radicular a los 60 días. **¡Error! Marcador no definido.**

Ilustración 7. Prueba de Tukey 5% para área foliar a los 30 días. **¡Error! Marcador no definido.**

Ilustración 8. Prueba de Tukey 5% para área foliar a los 45 días. **¡Error! Marcador no definido.**

Ilustración 9. Prueba de Tukey 5% para área foliar a los 60 días. **¡Error! Marcador no definido.**

Ilustración 10. Prueba de Tukey 5% para longitud radicular a los 30 días. **¡Error! Marcador no definido.**

Ilustración 11. Prueba de Tukey 5% para longitud radicular a los 45 días. **¡Error! Marcador no definido.**

Ilustración 12. Prueba de Tukey 5% para longitud radicular a los 60 días. **¡Error! Marcador no definido.**

Ilustración 13. Prueba de Tukey 5% para porcentaje de enraizamiento. **¡Error! Marcador no definido.**

Índice de anexos

ANEXO 1. pH DEL BIOFERTILIZANTE	35
ANEXO 2. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL BIOFERTILIZANTE (ms/cm) ..	35
ANEXO 3. CANTIDAD DE NITRÓGENO DEL BIOFERTILIZANTE (ppm).....	35
ANEXO 4. CANTIDAD DE FOSFORO DEL BIOFERTILIZANTE (%).....	35
ANEXO 5. CANTIDAD DE POTASIO DEL BIOFERTILIZANTE (%).....	36
ANEXO 6. CANTIDAD DE CALCIO DEL BIOFERTILIZANTE (%).....	36
ANEXO 7. CANTIDAD DE MAGNESIO DEL BIOFERTILIZANTE (%).....	36
ANEXO 8. CANTIDAD DE COBRE DEL BIOFERTILIZANTE (ppm).....	36
ANEXO 9. CANTIDAD DE MANGANESO DEL BIOFERTILIZANTE (ppm).....	37
ANEXO 10. CANTIDAD DE ZINC DEL BIOFERTILIZANTE (ppm).....	37
ANEXO 11. CANTIDAD DE MATERIA ORGÁNICA DEL BIOFERTILIZANTE...	37
ANEXO 12. RECUENTO DE <i>E. coli</i> DEL BIOFERTILIZANTE (UFC/ml)	38
ANEXO 13. RECUENTO DE COLIFORMES DEL BIOFERTILIZANTE (UFC/ml) 38	
ANEXO 14. RECUENTO DE ENTEROBACTERIAS DEL BIOFERTILIZANTE (UFC/ml).....	38
ANEXO 15. RECUENTO DE AEROBIOS TOTALES DEL BIOFERTILIZANTE (UFC/ml).....	38

RESUMEN EJECUTIVO

El trabajo de investigación titulado “EVALUACIÓN DE UN EFLUENTE LÍQUIDO OBTENIDO MEDIANTE BIODIGESTORES CON DIFERENTES TIEMPOS DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (TRH)” se realizó con la finalidad de determinar el contenido nutricional, microbiológico, pH y CE del biofertilizante obtenido de los digestores con diferentes tiempos de retención y el mejor tiempo que influye en la calidad del biofertilizante (efluente líquido) en función a la retención hidráulica. El estudio se realizará en un determinado sitio de la propiedad del Sr: Nasareno Palacios Sánchez, del sector de Chocalo El Mirador, correspondiente a la parroquia Rumipamba, ubicado en el cantón Quero, Provincia de Tungurahua a una distancia de 29 Km al sur de Ambato con una altitud de 3420 m.s.n.m., cuyas coordenadas geográficas son: 01° 26′ 35.50″ de latitud Sur y 78° 37′ 43.48″ de longitud Oeste.

Se aplicó el diseño de bloques completamente al azar, además se realizaron las pruebas de significación de Tukey al 5 %, el tratamiento TRH 4 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 120 días) registraron resultados significativos, se obtuvieron los siguientes resultados: para la variable pH del biofertilizante con una media de 7,63, conductividad eléctrica del biofertilizante con una media de 4,01 ms/cm, cantidad de nitrógeno del biofertilizante con una media de 59,66 ppm, cantidad de fosforo del biofertilizante con una media de 4,38 %, cantidad de potasio del biofertilizante, con una media de 0,76 % y en el análisis microbiológico el tratamiento TRH 2 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 90 días) registro mayor recuento de *E. coli*, con una media de $2,50 \times 10^3$ UFC/ml. El tratamiento TRH 4 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 120 días) registro menor recuento de *E. coli*, con una media de $< 1 \times 10^{-1}$ UFC/ml.

PALABRAS CLAVES: Bacterias, Biodigestores, Biofertilizante, Temperatura, Tiempo de retención hidráulica.

SUMMARY

The research work entitled “EVALUATION OF A LIQUID EFFLUENT OBTAINED BY BIODIGESTORS WITH DIFFERENT HYDRAULIC RETENTION TIMES (HRT)” was carried out in order to determine the nutritional, microbiological, pH and EC content of the biofertilizer obtained from digesters with different times of retention and the best time that influences the quality of the biofertilizer (liquid effluent) based on hydraulic retention. The study will be carried out at a specific site owned by Mr. Nasareno Palacios Sánchez, from the Chocalo El Mirador, corresponding to the Rumipamba parish, located in the Quero, Tungurahua Province at a distance of 29 km south of Ambato with an altitude of 3420 m.s.n.m., whose geographical coordinates are: 01° 26′ 35.50″ of South latitude and 78° 37′ 43.48″ of West longitude.

The completely randomized block design was applied, in addition to the 5% Tukey significance tests, the TRH 4 treatment (Liquid effluent output from the anaerobic biodigester at 120 days) recorded significant results, the following results were obtained: for the pH variable of the biofertilizer with an average of 7.63, electrical conductivity of the biofertilizer with an average of 4.01 ms/cm, amount of nitrogen of the biofertilizer with an average of 59.66 ppm, amount of phosphorus of the biofertilizer with an average of 4.38 %, amount of biofertilizer potassium, with an average of 0.76 % and in the microbiological analysis the treatment TRH 2 (Output of the liquid effluent from the anaerobic biodigester at 90 days) record higher E count. coli, with an average of $2,50 \times 10^3$ UFC/ml. The TRH 4 treatment (Outflow of liquid effluent from the anaerobic biodigester at 120 days) recorded a lower E. coli count, with a mean of $2,50 \times 10^3$ UFC/ml.

KEY WORDS: Bacteria, Biodigesters, Biofertilizer, Temperature, Hydraulic retention time.

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

Los desechos ganaderos, específicamente las excretas, son un problema que hay que controlar, ya que estas, sin un manejo adecuado producen gases contaminantes que incrementan el calentamiento global; uno de ellos es el óxido nitroso, 296 veces más perjudicial que el CO₂ (Gabler, 2011).

Las familias dedicadas a la agricultura, suelen ser propietarias de pequeñas cantidades de ganado (dos o tres vacas, por ejemplo) y pueden, por tanto, aprovechar el estiércol para producir su propio fertilizante natural mejorado. Se debe considerar que el estiércol acumulado cerca de las viviendas supone un foco de infección, olores y moscas (Martí, 2008).

Para dar solución a este problema medio ambiental, una de las soluciones son los biodigestores, los cuales hacen uso de la digestión anaeróbica, proceso mediante el cual, en ausencia de oxígeno, la materia orgánica es transformada en subproductos como el biogás y biofertilizante, a gracias a la existencia de cuatro fases consecutivas en el proceso de degradación de la materia orgánica, la hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (Ortega et al., 2006), como también la digestión anaerobia de residuos orgánicos es una opción prometedora para mitigar el cambio climático y se considera una tecnología de tratamiento sostenible (Pantaleo et al., 2013).

En Ecuador, el uso de biodigestores anaerobios empezó en la década de los 70 con la Organización Latinoamericana de Energía OLADE, este programa se realizó en la Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL y se implementaron 65 biodigestores en el país, en la década de los 90 los biodigestores en el Ecuador y a nivel mundial fueron abandonados porque no se obtuvieron los resultados esperados, desde el 2010 hasta la actualidad se han sumado entidades públicas, universidades y facultades de agronomía, para el rescate de esta clase tecnología olvidada y por ende implementar biodigestores anaerobios en el país (Ministerio del Ambiente, 2015).

Son tres los límites básicos de los biodigestores anaerobios: la disponibilidad de agua para hacer la mezcla con el estiércol que será introducida en el biodigestor, la cantidad de ganado que posea y la apropiación de la tecnología por parte del beneficiado (Martí, 2008).

Es necesario tomar en cuenta diferentes factores, uno de ellos es la temperatura, esta es necesaria debido a los procesos anaerobios que requieren de temperaturas estables (Martí, 2002), otro factor es el Tiempo de Retención Hidráulico (TRH) que junto con la velocidad de carga orgánica son los principales parámetros del diseño, definiendo el volumen del digestor (MINENERGIA et al., 2011).

La digestión Anaerobia genera además un efluente que puede aplicarse en campos agrícolas para la recuperación de nutrientes, por sus propiedades como fertilizante (Rajagopal et al., 2011), el efluente que se consigue en el proceso de la digestión anaerobia es un biofertilizante rico en macro y microelementos disponibles para las plantas, capaz de competir con los fertilizantes químicos, que son más caros y dañan el medio ambiente (Vallejo, 2013).

El objetivo de la investigación es determinar el tiempo de retención de los diferentes biodigestores anaeróbicos, en condiciones climáticas frías. Igualmente evaluar el estiércol bovino utilizado como materia prima y caracterizar o formular el efluente obtenido, mediante toma de datos diarios y análisis de laboratorio.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA O MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Sossa y Alvarez (2016), manifiestan el propósito de la investigación es modelar y simular matemáticamente el proceso de digestión anaerobia en condiciones de clima frío utilizando biodigestores tubulares, considerando la variación de la temperatura ambiental, el comportamiento hidrodinámico del biodigestor, el mecanismo de reacción, la estequiometría y la cinética de la digestión anaerobia. En el modelo matemático que se propone se ha tomado en cuenta el comportamiento térmico del biodigestor a través de la obtención de correlaciones matemáticas que relacionan el tiempo con la temperatura ambiental y la temperatura de la fase gaseosa del biodigestor, además se asume que la temperatura en la fase líquida se mantiene constante. Como resultado se obtuvo un conjunto de parámetros cinéticos que podrán ser utilizados en posteriores aplicaciones de ADM1 en el caso de la digestión anaerobia de estiércol de vaca. Los resultados de la simulación presentan un grado aceptable de concordancia con los resultados experimentales y las diferencias se deben a variaciones en el comportamiento hidrodinámico del biodigestor.

Martí, et al. (2014), manifiesta que evaluaron el aumento de producción de biogás con dos digestores tubulares de bajo costo en los climas fríos usando anillos PET en el interior del reactor y han sido alimentados con estiércol de vaca. La diferencia entre los dos sistemas es que uno se llenó con anillos PET como un portador de biofilm. Los resultados muestran que 44% más de biogás por kgSV se ha producido al utilizar el portador de biofilm ($0.33\text{m}^3/\text{kgSV}$; $0.09\text{ m}^3/\text{m}^3/\text{d}$) en relación a un digestor control ($0.23\text{m}^3/\text{kgSV}$; $0.06\text{ m}^3/\text{m}^3/\text{d}$), es operado en mismas condiciones climáticas (frío) y con una tasa de

carga orgánica de 0.26 kgSV/m³/d. La calidad de biogás es similar en ambos casos, el rendimiento térmico revela una temperatura de la suspensión de 16.6°C y la temperatura ambiente media diaria en invierno es 6.1 °C con varias noches por debajo de cero.

Criollo y Guzmán (2014), indican que el diseño e Implementación de un Biodigestor Piloto para la producción de biogás en una de las viviendas de la Comunidad Santa Lucía de Tembo perteneciente a la Parroquia San Isidro de Patúlu del Cantón Guano. Se seleccionaron aleatoriamente siete cabezas de ganado vacuno, Durante los 46 días de monitoreo, bajo las siguientes condiciones: carga diaria 58,3Kg/día, temperatura media anual 13,5°C, tiempo de retención 39 días, dilución agua: estiércol 1:1; se diseñó un biodigestor cuyas dimensiones son: longitud 4,7m, diámetro 1,27m, Volumen total 6,03 m³. El aislamiento térmico permitió incrementar la temperatura interna 3-5°C días fríos y 15-20°C días soleados. Concluyendo que la producción diaria de biogás en días cálidos es de 1,5m³ que proporcionan 1.68 horas de llama encendida.

Villanueva, et al. (2011), manifiesta que en el sector agropecuario de México requieren impulsar la generación y caracterización del biogás en un biodigestor modelo DM-1 utilizando excretas de ganado bovino. Se evaluaron a nivel laboratorio dos cargas de materia orgánica con tiempos de retención de 29 y 10 días para la digestión de la materia orgánica. El promedio de producción de biogás para la primera y segunda carga fue de 1.20 y 1.53 litros/kilogramos de sustrato, respectivamente.

Reyes (2015), afirma que obtuvieron biogás (energía) y biofertilizantes (biol: líquido y biosol: solido) en un digestor tubular para la sostenibilidad energética y mejorar la calidad de vida en el Centro Poblado de Huashao de la provincia de Yungay del Departamento de Ancash, la materia prima empleada fue de estiércol fresco de ganado vacuno. Los resultados en relación al estiércol-agua usando 1:5, a una temperatura de ambiente promedio de 14°C y a una altura 3550 msnm, con un tiempo de retención de 42 días, siendo el volumen de biogás de 5 m³. La aplicación del biosol favoreció el crecimiento del tallo de la alfalfa y el biol ha propiciado la producción de más follaje en la alfalfa, en

base a que el T3 (biol + biosol) y el T1 (biol) han producido más peso de alfalfa al momento del corte (más tallos/m²).

Laines y Sosa (2013), manifiesta que usaron biodigestores anaerobios tipo cúpula a escala real en la División Académica de Ciencias Biológicas, es una celda sobre el suelo de 67 m³ aislada térmicamente con geomembrana de polivinilo de cloruro, el proceso inicia con el contenido gástrico ruminal bovino (rumen), la alimentación es una mezcla rumen: agua en proporción 4:1, durante 90 días se monitoreó el pH y la temperatura. La composición del biogás a los 30, 60 y 90 días en concentraciones de % del volumen de CH₄ y CO₂ fueron, 62.80±3.42% y 30.75±0.62%, como se observa una degradación del 91% de la materia orgánica, posterior a los 90 días. Al término de este periodo se caracterizó el biodigestato resultante, determinando concentraciones nutricionales disponibles para las plantas de: Nitrato (6013.11±3147 mg/l); Amoniac NH₄ (4804.27±1599 mg/l); Fosforo puro (1125.93±393 mg/l), PO₄ (3508.55±1208 mg/l) y P₂O₅ (2602.28±903 mg/l); y Potasio puro (2186.81±628 mg/l) y K₂O (2651.34±762 mg/l).

Cepero, et al. (2012), indica que en la producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores anaeróbicos de cúpula fija, tubular plástico y la laguna anaeróbica de geomembrana, a partir de estas se construyeron 69 biodigestores, en fincas de las provincias de Matanzas, Sancti Spíritus y Las Tunas, Estación Experimental “Indio Hatuey”, comunidad de Montaña Magueyal (Santiago de Cuba), centro de producción porcina de Las Tunas y en una granja agropecuaria del Ministerio del Interior, en Jovellanos (provincia de Matanzas), estos 69 biodigestores abarcaron la capacidad total de 1 665 m³ y generaron producciones de 600 060 m³ de biogás y como 2 601 t en bioabonos y 348 t de fertilizante completo NPK (12-10-10%), empleados en la mejora de la fertilidad de 1 830 ha de suelos.

Coaguila, et al. (2019), manifiesta la evaluación del efecto de dos dosis de Biosol y de

cuatro niveles de Biol sobre la producción del cultivo de cebolla variedad “Camaneja” en la Irrigación Majes. El Biol y Biosol utilizados fueron los remanentes de la planta de Biogás de la Universidad Católica de Santa María instalada en la Irrigación Majes. Los análisis del nutriente del biol aplicado en el experimento con un pH: 7,83; de conductividad eléctrica: 5,6 dS/m; M.O en Solución: 1,9 g/L; N total: 364 mg/L; P total: 73,24 mg/L; K total: 810 mg/L; Ca total: 159,5 mg/L; Mg total: 147,5 mg/L; Na total: 505 mg/L; Fe total: 4,01 mg/L; Cu total: 0,76 mg/L; Zn total: 1,58 mg/L; Mn total: 0,8 mg/L; y B total: 2,33 mg/L.

2.2. CATEGORIAS FUNDAMENTALES O MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. VARIABLE INDEPENDIENTE Tiempo de retención hidráulica (TRH)

Tiempo de retención, es el tiempo promedio en que la materia orgánica es degradada por los microorganismos, se ha observado que a un tiempo corto de retención se produce mayor cantidad de biogás, pero un residuo de baja calidad fertilizante por haber sido parcialmente digerido. Pero para tiempos largos de retención se obtendrá un rendimiento bajo de biogás, pero con un efluente (residuo) más degradado y con excelentes características como fuente de nutrimentos (Soria et al., 2001).

El tiempo de retención hidráulico es el parámetro que permite controlar el caudal del efluente tratado, se define como el cociente entre el volumen y el caudal de tratamiento, es decir, el tiempo medio de permanencia del influente en el reactor. La relación que tiene la Temperatura con el Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) donde a menor temperatura, mayor será el tiempo de retención hidráulica para que se realice el proceso (González, 2015).

Tabla 1: Tiempo de retención hidráulico de estiércol de ganado en distintas regiones

Tiempo de retención hidráulico	Características
30 – 40 días	Clima tropical con regiones planas.

40 – 60 días

Regiones cálidas con inviernos fríos cortos.

60 – 90 días

Clima temperado con inviernos fríos.

Fuente: MINENERGIA et al., 2011

Velocidad de carga orgánica

Con este término se designa al volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al digestor. Este valor tiene una relación de tipo inversa con el tiempo de retención, dado que a medida que se incrementa la carga volumétrica disminuye el tiempo de retención. El tiempo de retención, junto con la velocidad de carga orgánica determinada por el tipo de sustrato, son los principales parámetros de diseño, definiendo el volumen del digestor (MINENERGIA et al., 2011).

Temperatura

La velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados a su vez, de la dependencia de temperatura a medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión anaerobia. La temperatura de operación del digestor está considerada uno de los principales parámetros del diseño, por lo tanto, existen tres rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaerobios: psicofílico (por debajo de 25°C), mesofílico (entre 25 y 45°C) y termofílico (entre 45 y 65°C) (Martí, 2002).

Las bacterias requieren de un cierto tiempo para degradar la materia orgánica, la velocidad de degradación depende en gran parte de la temperatura; mientras mayor sea la temperatura, menor es el tiempo de retención o fermentación. Si se toma como ejemplo el uso de estiércol de ganado, los TRH varían con la temperatura media de cada región, con la variación diaria estacional, por otra parte, el rango psicofílico se establece para climas fríos con una temperatura: mínima de 4-10 °C; óptima de 15-18°C; y máxima de 20-25°C, con un tiempo

de fermentación sobre los 100 días. En general se plantea como poco viable al gran tamaño del reactor necesario para el lento proceso de la digestión anaeróbica (MINENERGIA et al., 2011).

Tabla 2: Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica

Fermentación	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tiempo de fermentación
Psicrophilica	4-10 °C	15-18°C	20-25°C	Sobre 100 días
Mesophilica	15-20 °C	25-35°C	35-45°C	30-60 días
Thermophilica	25-45°C	50-60°C	75-80°C	10-15 días

Fuente: MINENERGIA et al., 2011

pH

Los diferentes grupos bacterianos presentes en el proceso de digestión anaerobia presenta unos niveles de actividad óptimos en torno a la neutralidad entre los siguientes valores: Fermentativos entre 7.2 y 7.4; Acetogénicos entre 7.0 y 7.2; y Metanogénicos entre 6.5 y 7.5, para que el proceso se desarrolle satisfactoriamente, el pH no debe bajar de 6 ni subir de 8 (Martí, 2002).

En los digestores operados con estiércol de bovino, los valores óptimos de operación oscilan entre 6.7 y 7.5 con límites de 6.5 a 8.0 (Hayes et al., 1979).

Relación carbono/nitrógeno

El carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas. El carbono constituye la fuente de energía y el nitrógeno es utilizado para la formación de nuevas células. Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación C/N óptima, que debe tener el material “fresco o crudo” que se utilice para iniciar la digestión anaeróbica, se considera en un rango de 30:1 hasta 20:1. Por lo tanto, cuando no se tiene un residuo con una relación C/N inicial apropiada, es necesario realizar

mezclas de materias en las proporciones adecuadas para obtener la relación C/N óptimas (MINENERGIA et al., 2011).

Tabla 3: Relación Carbono/Nitrógeno

Materiales (Residuos o estiércol)	C/N
Bovinos	25:1

Fuente: MINENERGIA et al., 2011

Digestión anaerobia

La digestión anaerobia es actualmente una de las técnicas más utilizadas en el campo y en la industria para disminuir considerablemente los olores y mejorar la capacidad fertilizante del biosólido haciendo uso de su alto contenido de materia orgánica, nitrógeno, fosforo y micronutrientes, aportando grandes beneficios en la agricultura y en actividades de recuperación de tierras degradadas (Rodríguez, 2010).

Etapas del proceso de digestión anaerobia

- Hidrólisis: Consiste en una transformación controlada por enzimas extracelulares en la que las moléculas orgánicas complejas y no disueltas se rompen en compuestos susceptibles de emplearse como fuente de materia y energía para las células de los microorganismos (Agrowaste, 2013).
- Acidogénesis: La segunda etapa, controlada por bacterias, consiste en la transformación de los compuestos formados en la primera etapa en otros compuestos de peso molecular intermedio; como dióxido de carbono, hidrógeno, ácidos y alcoholes alifáticos, amoníaco y sulfhídrico. Esta etapa se denomina acidogénesis (Agrowaste, 2013).
- Acetogénesis: En la etapa de acetogénesis, los ácidos y alcoholes que provienen de la acidogénesis se van transformando por la acción de bacterias en ácido acético, hidrógeno

y dióxido de carbono (Agrowaste, 2013).

- **Metanogénesis:** La metanogénesis, última etapa, consiste en la transformación bacteriana del ácido acético y del ácido fórmico en dióxido de carbono y metano y la formación de metano a partir de dióxido de carbono e hidrógeno (Agrowaste, 2013).

Nutrientes

Generalmente las bacterias que intervienen en el proceso de fermentación anaerobia tienen requerimientos nutritivos simples para su desarrollo. Los principales nutrientes son carbono, nitrógeno, fósforo y pequeñas cantidades de azufre, vitaminas, ácidos grasos, aminoácidos (que pueden ser aportados por otras bacterias) y una serie de elementos minerales como K, Na, Ca, Mg y Fe en muy bajas concentraciones, los residuos animales contienen normalmente todos los nutrientes necesarios en cantidades adecuadas (Mansur, 2014).

Tabla 4: Concentración de nutrientes de estiércol fresco

Materia Prima	N (%)	Promedio N (%)	P₂O₅ (%)	Promedio P₂O₅ (%)	K₂O (%)
Bovino	0,3 – 2,0	1,15	0,1 – 1,5	0,8	0,10

Fuente: MINENERGIA et al., 2011

Tabla 5: Requerimientos de agua para la preparación de la materia prima según estiércol

Tipo animal	Relación estiércol : agua (Kg : L)
Ganado vacuno	1:3

Fuente: Martí, 2008

2.1.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Efluentes líquidos (biofertilizante).

Con la digestión anaeróbica se obtienen dos tipos de productos: uno es el biogás, utilizado principalmente como combustible y el otro, el lodo residual orgánico estabilizado, utilizado como acondicionador y/o biofertilizante de suelos (MINENERGIA et al., 2011).

Este efluente es separado en su fase solida conocida como "biosol" y su fase líquida como "biofertilizante". De este efluente el 90% corresponde al biofertilizante y el 10% al biosol (Aparcana, 2008).

El biofertilizante es el resultado de la fermentación de estiércol y agua a través de la descomposición y transformación química de residuos orgánicos en un ambiente anaerobio, el biofertilizante es un producto biológicamente estable, rico en humus y con una baja carga de patógenos. El biofertilizante tiene una buena actividad biológica, desarrollo de fermentos nitrosos y nítricos, microflora, hongos y levaduras que serán un excelente complemento para suelos improductivos o desgastados, la capacidad de fertilización del efluente líquido es mayor a la del estiércol fresco y a la del estiércol compostado debido a que el nitrógeno es convertido a amonio (NH_4), el cual posteriormente es transformado en nitratos (Sistema Biobolsa, 2017).

Para producir un mejor biofertilizante es interesante aumentar los tiempos de retención (TR), de manera que el lodo se descomponga más, y sea de mayor calidad y más fácil de asimilar por las plantas. El biofertilizante que sale de un biodigestor con los tiempos de retención expresados en la Tabla de abajo es muy bueno, pero si aumentamos estos tiempos de retención en un 25% es excelente. Al aumentar el tiempo de retención implica un mayor volumen del biodigestor (Martí, 2008).

Tabla 6: Tiempo de retención según la temperatura para un mejor fertilizante

Región característica	Temperatura (°C)	Tiempo de retención (días)
Trópico	30	25

Valle	20	37
Altiplano	10	75

Fuente: Martí, 2008

Tabla 7: Composición del biofertilizante (Tiempo de retención de 75 días)

Muestr a	N (%)	Promedio N (%)	P (%)	Promedio P (%)	K (%)	M.O. (%)	pH
Bovino	2 – 3	2,5	1 - 2	1,5	1	85	7,5

Fuente: Martí, 2008

Principales características del biofertilizante son:

- Es rico en materia orgánica, elementos minerales y provee nitrógeno.
- Mejora la disponibilidad de nutrientes del suelo, su disponibilidad hídrica, promueve actividades fisiológicas.
- Estimula el desarrollo de las plantas: enraizamiento, crecimiento de hojas, la floración, el vigor y poder germinativo de las semillas.
- No tiene malos olores ni atrae moscas.
- Protege de insectos y recupera los cultivos afectados por heladas.
- El biol puede aumentar la producción desde el 30% hasta el 50% de los cultivos.
- Se usa en cultivos hidropónicos, huertas y medios acuáticos para aumentar plancton (Ministerio del Ambiente, 2015).

Uso del biofertilizante

El biofertilizante puede ser utilizado en labores agrícolas para una gran variedad de plantas sea de periodos vegetativos cortos o largos, gramíneas, forrajeras, leguminosas, frutales, hortalizas, raíces, tubérculos y ornamentales con aplicaciones dirigidas al follaje, suelo, semilla y/o raíz. Sus posibles usos son los siguientes (AEDES, 2006):

- Inicialmente, cuando el terreno se ara, se puede usar el biofertilizante recién salido del biodigestor para regar cada surco (Martí, 2008).
- El día antes de sembrar, se pueden introducir las semillas o grano en una mezcla de 1 a 1 de biofertilizante con agua por un tiempo de 4 o 5 horas (Martí, 2008).
- Una vez en crecimiento la planta, se puede filtrar el biofertilizante y fumigar (uso como fertilizante foliar) las plantas con una mezcla de una parte de fertilizante y 4 de agua. Funciona muy bien fumigar tras una helada, así como cuando ya comienza el fruto a aparecer, pero nunca durante la floración, ya que podría llegar a quemar la planta (Martí, 2008).

Biogás

El biogás, es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismo y otros factores, en ausencia de oxígeno. El resultado es una mezcla constituida por metano (CH₄) en una proporción que oscila entre un 50% y un 70% en volumen, y dióxido de carbono (CO₂), conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno (H₂), nitrógeno (N₂), oxígeno (O₂) y sulfuro de hidrógeno (H₂S) (González, 2015).

2.1.2. UNIDAD DE ANÁLISIS

Biodigestor anaeróbico

Tiene una cámara de digestión donde ingresa la materia para ser degradada y una cúpula en la que se deposita el biogás, tiene una entrada y dos salidas. La entrada puede conectar con la caja de mezcla o separador de sólidos para el ingreso de la materia prima. La primera salida es la del biogás, y está en la parte superior de la bolsa, la otra es la del biofertilizante, y se encuentra al otro extremo respecto a la entrada, conectando con la caja de recepción del biofertilizante (Ministerio del Ambiente, 2015).

Reactor

El reactor corresponde al dispositivo principal donde ocurre el proceso bioquímico de degradación de la materia orgánica, los reactores de digestión pueden tener forma cilíndrica o tubular, cúbica, ovoide y rectangular. Tienen cubiertas fijas o flotantes, cuya misión es impedir que escapen olores, conservar la temperatura, evitar la entrada de oxígeno y recoger el gas producido. Pueden estar contruidos de distintos materiales desde plástico (polietileno), geomembrana de PVC (policloruro de vinilo), concreto y hasta de acero inoxidable (MINENERGIA et al., 2011).

Digestor anaerobio tipo cilíndrico o tubular

También conocido como salchicha o taiwanés, funciona como un intestino. La carga de estiércol y agua ingresa por la tubería, y mientras se degrada fluye hasta llegar al otro extremo produciendo biogás y biofertilizante en el proceso. La cámara de digestión tiene forma alargada y está hecha con plástico de polietileno o geomembrana de PVC. El biodigestor debe estar siempre protegido, en el trópico y valle se puede utilizar una cubierta, mientras que en climas fríos se emplea un invernadero y aislamiento en la zanja. Este ha sido uno de los modelos más utilizados por su relación calidad/precio y su bajo costo de inversión (Ministerio del Ambiente, 2015).

CAPÍTULO III HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

3.1. HIPÓTESIS

El tiempo de retención hidráulica (75 días) en el proceso de digestión anaerobia influye sobre la calidad del efluente líquido para utilizar como biofertilizante.

3.2. OBJETIVOS

3.2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar los efluentes líquidos obtenidos mediante biodigestores con diferentes Tiempos de Retención Hidráulica (TRH).

3.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Determinar el contenido nutricional, microbiológico, pH y CE del biofertilizante obtenido de los digestores con diferentes tiempos de retención.
- Determinar el mejor tiempo que influye en la calidad del biofertilizante (efluente líquido) en función a la retención hidráulica.

CAPÍTULO IV MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO (ENSAYO)

El estudio se realizará en un determinado sitio de la propiedad del Sr: Nasareno Palacios Sánchez, del sector de Chocalo El Mirador, correspondiente a la parroquia Rumipamba, ubicado en el cantón Quero, Provincia de Tungurahua a una distancia de 29 Km al sur de Ambato con una altitud de 3420 m.s.n.m., cuyas coordenadas geográficas son: 01° 26' 35.50'' de latitud Sur y 78° 37' 43.48'' de longitud Oeste. Según el sistema de posicionamiento global (GPS).

4.2. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR

4.2.1. Clima.

El clima de la zona es poco agradable, existe presencia de climas fríos de las Cordilleras de Estructuras Volcánicas, especialmente en partes más altas del cantón sobre los 3600 m.s.n.m., donde existen pocos asentamientos humanos y vías de acceso (GAD Quero, 2011).

La temperatura mínima y máxima promedio de la zona es de 7,6 °C y 18,7 °C, respectivamente; la humedad relativa alcanza el 75% y la precipitación anual llega a 549,5 mm (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMHI, 2015).

4.2.2. Suelo.

Los suelos de la zona fueron formados por erupciones volcánicas, las cenizas constituyen un material de origen predominante dentro del suelo del área de estudio; estas proveen ciertas características a los suelos en relación con la gama de condiciones climáticas. El uso que se le da a estos suelos es para: cultivos de ciclo corto, pastos plantados, eucaliptos, pajonales, plantas herbáceas (GAD Quero, 2011).

4.2.3. Agua.

El agua utilizada en la propiedad del Sr: Nasareno Palacios Sánchez, del sector de Chócalo El Mirador, proveniente de la red de la Junta de Agua Potable y Alcantarillado Rumipamba, con un pH de 6,76; una alcalinidad total de 116 mg/l, dureza de 100 mg/l, conductividad eléctrica de 321,5 umhos/cm.

4.3. EQUIPOS Y MATERIALES

4.3.1. Materiales de la zanja.

- Paja de la zona

4.3.2. Materiales del biodigestor.

- Polietileno tubular (500 micras color negro).
- Tubo PVC 4".
- Pegamento de tubos de PVC.
- Acople tanque ½".
- Tee PVC ½".
- Tapón macho PVC ½".

- Teflón.
- Liga de neumático.

4.3.3. Materiales del invernadero.

- Tiras de madera de 3m de ancho.
- Tablas.
- Plástico solar.
- Clavos ½”.
- Alambre de amarre.

4.3.4. Materiales para el ingreso de carga diaria.

- Estiércol de ganado bovino.
- Agua.
- Tanque plástico de 250 litros.
- Paleta de madera.
- Balde de 20 litros.
- Pala.

4.3.5. Otros materiales.

- Flexómetro.
- Pala.
- Alicata.
- Alambre.
- Azadón.
- Piola.
- Estacas.
- Desarmador.
- Guantes.

- Fundas Ziploc.
- Letreros de identificación.
- Etiquetas.
- Lápiz.
- Libreta de campo.
- Botella plástica.

4.3.6. Equipos.

- Equipo de pH.
- Equipo de conductividad eléctrica.
- Sensores de temperatura.
- Sensor de humedad.
- GPS métrico.
- Computadora (Programas).
- Cámara fotográfica.

4.4. FACTORES EN ESTUDIO

Tiempo de Retención Hidráulica:

- TRH 1: Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 75 días.
- TRH 2: Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 90 días.
- TRH 3: Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 105 días.
- TRH 4: Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 120 días.

4.5. TRATAMIENTOS

Tabla 8: PLANTEAMIENTO DE LOS TRATAMIENTOS

No.	Tratamientos	Descripción
1	TRH 1	Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 75 días.
2	TRH 2	Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 90 días.
3	TRH 3	Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 105 días.
4	TRH 4	Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 120 días.

Elaborado por: Palacios, 2018

4.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se aplicó el Diseño Completamente al Azar (DCA) con 4 tratamientos por 5 repeticiones, con un total de 20 muestras. Se realizó el análisis de variancia (ADEVA), de acuerdo con el diseño experimental planteado, pruebas de significación de Tukey al 5% para diferenciar de los tratamientos.

4.7. MANEJO DEL EXPERIMENTO

4.7.1. Selección del lugar.

El ensayo se situó cerca del lugar de pastoreo del ganado bovino con el fin de facilitar la recogida del estiércol fresco de cada mañana, como también se consideró la ubicación del ensayo frente a las fuertes ráfagas de viento.

4.7.2. Muestreo de las excretas del ganado.

Se realizó un muestreo y pesado de las excretas de ganado bovino, esta lectura se efectuó por un periodo de 10 días consecutivos donde se obtuvo un valor promedio y constante de 60 kilos de estiércol fresco disponible para cada día.

4.7.3. Diseño de los biodigestores.

Con el valor exacto de la cantidad de estiércol disponible se procedió con los cálculos de las dimensiones de los biodigestores anaerobios, zanjas y del diseño del invernadero. Tomando en cuenta el diseño experimental de 4 tratamientos es decir 4 biodigestores con la misma medición de ancho, pero con diferente medición de longitud, por 5 repeticiones dando un total de 20 biodigestores anaerobios.

Tabla 9: Dimensiones de los biodigestores anaeróbicos.

DATOS:	Tratm.	Tratm.	Tratm.	Tratm.	Unidades
	No.1	No.2	No.3	No.4	
Radio	0,32	0,32	0,32	0,32	m
Pi	3,1416	3,1416	3,1416	3,1416	
Cantidad de estiércol disponible:	3	3	3	3	Kg estiércol/día
Relación Agua : Estiércol	3	3	3	3	litros/1Kg de estiércol
Tiempo de Retención:	75	90	105	120	días

REQUERIMIENTOS	Tratm.	Tratm.	Tratm.	Tratm.	Unidades
:	No.1	No.2	No.3	No.4	
Cantidad de agua:	9	9	9	9	litros de agua/día
Carga diaria:	12	12	12	12	litros carga/día
Volumen líquido del digestor:	900	1.080	1.260	1.440	litros
Volumen gaseoso del digestor:	299,97	359,96	419,96	479,95	litros
Volumen total del digestor:	1.199,97	1.439,96	1.679,96	1.919,95	litros
Volumen Total del Digestor:	1,20	1,44	1,68	1,92	m ³
DIMENSIONES:	Tratm.	Tratm.	Tratm.	Tratm.	Unidades
	No.1	No.2	No.3	No.4	
Diámetro del digestor:	0,64	0,64	0,64	0,64	m
Ancho del digestor:	2,01	2,01	2,01	2,01	m
Longitud del digestor:	3,73	4,48	5,22	5,97	m
Área del digestor:	7,50	9,00	10,50	12,00	m ²
Relación óptima longitud/diámetro del biodigestor:	SI	SI	SI	SI	Entre 5 a 10 (óptimo 7)
DIMENSIONES REALES:	Tratm.	Tratm.	Tratm.	Tratm.	Unidades
	No.1	No.2	No.3	No.4	
Ancho Real del digestor:	2,21	2,21	2,21	2,21	m
Longitud Real del digestor:	4,73	5,48	6,22	6,97	m
Área Real del digestor:	10,46	12,11	13,75	15,40	m ²

Elaborado por: Palacios, 2018

4.7.4. Construcción de los biodigestores.

Para la construcción de los 20 biodigestores, se utilizó mangas de geomembrana termoselladas en las mismas que se instalaron acoples de tanque tipo rosca que se colocó en el centro de la manga y posteriormente se colocó dos tubos de PVC 4” en los extremos de la manga, para evitar fugas de biol se selló utilizando ligas de neumáticos.

4.7.5. Requerimiento del área.

El ensayo se realizó en un área de 192 metros cuadrados con 24m de largo y 8m de ancho.

4.7.6. Nivelación y trazado del ensayó.

Para esto se procedió a nivelar el área del ensayo con sus respectivas distancias entre tratamientos y repeticiones.

4.7.7. Excavación de las zanjas.

Se excavó 20 zanjas que consta de las siguientes dimensiones: 0,74 m del ancho superior de la zanja; 0,54 m del ancho inferior de la zanja; 0,48 m de profundidad y las dimensiones de longitud de las zanjas variaron de acuerdo al tratamiento de 3,83 m, 4,60 m, 5,32 m y 6,07 m.

4.7.8. Construcción del invernadero.

Para la construcción del invernadero, se utilizó una estructura de madera cubierta con plástico blanco, el cual sirvió para dar a los biodigestores una temperatura estable.

4.7.9. Colocación del aislamiento de la zanja.

Para el aislamiento en las zanjas se utilizó paja de la zona, la misma que fue esparcida uniformemente al contorno del arco del círculo.

4.7.10. Colocación del biodigestor en la zanja.

Una vez que las zanjas tenían el aislamiento se procedió a colocar los 20 biodigestores, luego se niveló la entrada del efluente y la salida del biol, para la colocación de los 20 biodigestores se procedió a preparar zanjas con su respectivo aislamiento, los mismos que se nivelaron para la entrada del efluente y la salida del biol.

4.7.11. Instalación de sensores.

Se instaló 20 sensores de temperatura en el interior de los biodigestores, otro sensor de temperatura y humedad relativa se colocó dentro del invernadero y un sensor de temperatura al exterior del invernadero.

4.8. VARIABLES RESPUESTAS

4.8.1. Temperatura

La temperatura se midió internamente de los biodigestores anaeróbicos, la lectura de este dato se realizó con la ayuda de sensores de temperatura dichos sensores serán monitoreados desde una computadora a tiempo real. También se midió la temperatura ambiente dentro y fuera del área donde estará ubicado los tratamientos y repeticiones, con la ayuda de un termómetro que siempre estaba colocado en el centro del ensayo, el registro de este dato se efectuó cada día. La unidad de temperatura se expresó en °C.

4.8.2. pH

Para la medición de pH se lo realizo introduciendo un electrodo en la solución entrante al biodigestor durante un corto tiempo de espera, para luego sacarlo y posteriormente se procedió al registro del dato. La medición se realizó cada 10 días en la mañana.

Como también se realizó una medición de pH de la solución salientes del biodigestor, cuando el biodigestor completo su llenado y realizo la expulsión del biofertilizante, así mismo se colocó el electrodo en la solución saliente o efluente líquido y durante un determinado tiempo de espera y posteriormente se registró el dato. Este proceso se lo hizo durante 10 días consecutivos del ensayo, posteriores al primer efluente.

4.8.3. Conductividad eléctrica

Para la medición de conductividad eléctrica se lo realizó introduciendo un electrodo en la solución entrante al biodigestor durante un corto tiempo de espera, para luego sacarlo y posteriormente se procedió al registro del dato. La medición se realizó cada 10 días en la mañana.

Como también se realizó una medición de la conductividad eléctrica de la solución salientes del biodigestor, cuando el biodigestor completo su llenado y realizó la expulsión del biofertilizante, así mismo se colocó el electrodo en la solución saliente o efluente líquido y durante un determinado tiempo de espera y posteriormente se registró el dato. Este proceso se lo hizo durante 10 días consecutivos del ensayo, posteriores al primer efluente.

4.8.4. Análisis del laboratorio

Los análisis de laboratorio del biofertilizante se los realizó en el Laboratorio de Suelos y Termoquímica, en la Facultad de Ciencias Agropecuarias (U.T.A.).

Se recogieron 20 muestra de los 4 tratamientos. La toma de muestras se efectuó cuando el biodigestor completo el llenado y realizó la expulsión del bioabono, donde se calculó aproximadamente, que la primera muestra se recogió a los 85 días, la segunda a los 100 días, la tercera a los 115 días y la cuarta a los 130 días.

Las muestras se trasladaron lo más pronto posible al laboratorio para realizar los análisis de este, a través de pruebas físicas, químicas.

4.8.4.1. Facultad de Ciencias Agropecuarias (U.T.A.).

Donde se determinó varios parámetros como:

- pH.

- Conductividad Eléctrica (C.E.).
- Materia orgánica (M.O.).
- Nitrógeno (N) por el método Kjeldahl.
- Fósforo (F); Potasio (K); Calcio (Ca); Magnesio (Mg); Cobre (Cu); Manganeso (Mn) y Zinc (Zn) por el método Espectrofotometría de Absorción Atómica.

Análisis microbiológico de:

- E. Coli.
- Coliformes Totales.
- Aerobios Totales.
- Anaerobios Totales.

4.9. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

La información obtenida fue procesada en el programa estadístico SEDEX versión 2017. En el cual se efectuó el Análisis de Varianza (ADEVA), también se realizó pruebas de comparación de Medias (Tukey 5%).

CAPÍTULO V RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Temperatura.

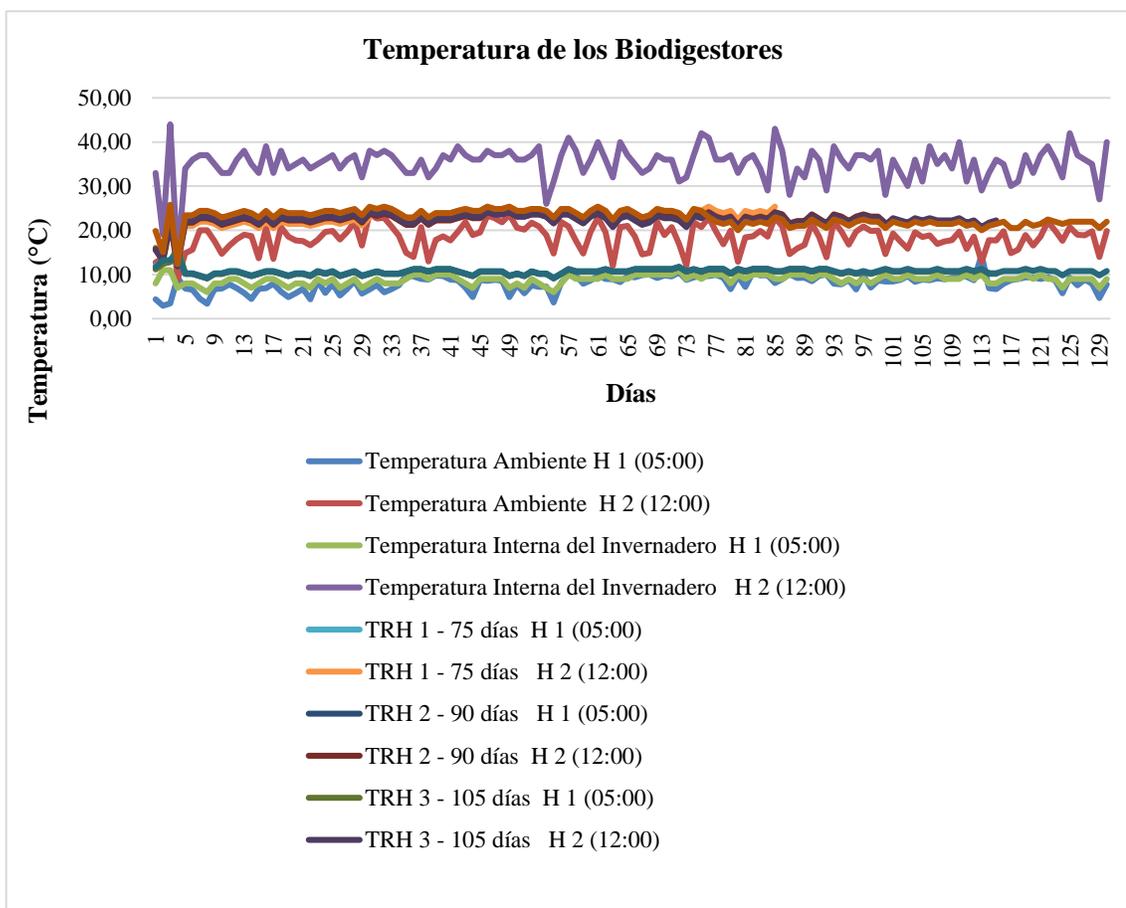


Ilustración 1. Temperatura de los Biodigestores.

En la variable de temperatura de la figura 1 se puede observar dos temperaturas una mínima H1 (5:00) y máxima H2 (12:00), en temperatura ambiente se registró temperaturas mínimas H1 (5:00) de 4 °C hasta 11 °C, en temperaturas máximas H2 (12:00) se reportó de 11 °C hasta 24 °C. En la temperatura interna del invernadero se registró temperaturas mínimas H1 (5:00) de 6 °C hasta 11 °C, en temperaturas máximas H2 (12:00) se reportó de 26 °C hasta 44 °C. El tratamiento TRH 1 (Salida

del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 75 días) registró temperaturas mínimas H1 (5:00), con medias de 7 °C hasta 11 °C, en temperaturas máximas H2 (12:00) se reportó, con medias de 20 °C hasta 26 °C. El tratamiento TRH 2 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 90 días) registró temperaturas mínimas H1 (5:00), con medias de 8 °C hasta 12 °C, en temperaturas máximas H2 (12:00) se reportó, con medias de 21 °C hasta 24 °C. El tratamiento TRH 3 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 105 días) registró temperaturas mínimas H1 (5:00), con medias de 6 °C hasta 11 °C, en temperaturas máximas H2 (12:00) se reportó, con medias de 20 °C hasta 25 °C. El tratamiento TRH 4 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 120 días) registró temperaturas mínimas H1 (5:00), con medias de 6 °C hasta 10 °C, en temperaturas máximas H2 (12:00) se reportó, con medias de 20 °C hasta 26 °C.

5.2. pH del biofertilizante.

En la variable de pH del biofertilizante, el tratamiento TRH 4 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 120 días) registró mayor pH (Tabla 10), con una media de 7,63. El tratamiento TRH 1 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 75 días) registró menor pH (Tabla 10), con una media de 7,27 obteniendo diferencias estadísticamente significativas.

5.3. Conductividad eléctrica del biofertilizante.

En la variable de conductividad eléctrica del biofertilizante presentó diferencias estadísticamente significativas, el tratamiento TRH 4 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 120 días) presentó la mayor conductividad eléctrica (Tabla 10), con una media de 4,01 ms/cm. El tratamiento TRH 1 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 75 días) registró la menor conductividad

eléctrica (Tabla 10), con una media de 3,01 ms/cm.

5.4. Análisis nutricional del biofertilizante.

En la variable de la cantidad de nitrógeno del biofertilizante, los tratamientos TRH 4 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 120 días), TRH 3 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 105 días) y TRH 2 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 90 días) presentaron la mayor cantidad de nitrógeno (Tabla 10), con medias de 59,66 ppm, 55,31 ppm y 52,21 ppm. El tratamiento TRH 1 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 75 días) presentó la menor cantidad de nitrógeno (Tabla 10), con una media de 43,51 ppm.

En la variable de la cantidad de fósforo del biofertilizante se registró que los tratamientos el tratamiento TRH 4 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 120 días) presentó la mayor cantidad de fósforo (Tabla 10), con una media de 4,38 %, respectivamente. El tratamiento TRH 1 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 75 días) registró la menor cantidad de fósforo (Tabla 10), con una media de 3,75 %, respectivamente.

En la variable de la cantidad de potasio del biofertilizante, los tratamientos TRH 4 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 120 días), TRH 3 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 105 días) y TRH 2 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 90 días) presentaron la mayor cantidad de potasio (Tabla 10), con medias de 0,76 %, 0,67 % y 0,65 %. El tratamiento TRH 1 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 75 días) presentó la menor cantidad de potasio (Tabla 10), con una media de 0,38 %.

En la variable de la cantidad de calcio del biofertilizante, el tratamiento TRH 4

(Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 120 días) registró mayor de calcio (Tabla 10), con una media de 0,04 %. El tratamiento TRH 1 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 75 días) registró menor calcio (Tabla 10), con una media de 0,03 % obteniendo diferencias estadísticamente significativas.

En la variable de la cantidad de magnesio del biofertilizante, el tratamiento TRH 4 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 120 días) registró mayor de magnesio (Tabla 10), con una media de 0,14 %. El tratamiento TRH 1 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 75 días) registró menor magnesio (Tabla 10), con una media de 0,08 %.

En la variable de cobre del biofertilizante, en los tratamientos no existió diferencias estadísticamente significativas, los tratamientos TRH 1 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 75 días), TRH 2 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 90 días), TRH 3 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 105 días) y TRH 4 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 120 días) registró una cantidad de cobre (Tabla 10), con una media de 0,50 ppm.

En la variable de la cantidad de manganeso del biofertilizante se registró que los tratamientos el tratamiento TRH 4 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 120 días) presento la mayor cantidad de manganeso (Tabla 10), con una media de 2,70 ppm, respectivamente. El tratamiento TRH 1 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 75 días) registro la menor cantidad de manganeso (Tabla 10), con una media de 1,10 ppm, respectivamente.

En la variable de la cantidad de zinc del biofertilizante presentó diferencias estadísticamente significativas, el tratamiento TRH 4 (Salida del efluente líquido del

biodigestor anaeróbico a los 120 días) presento la mayor cantidad de zinc (Tabla 10), con una media de 1,60 ppm. Los tratamientos TRH 1 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 75 días) y TRH 2 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 90 días) presentaron la menor cantidad de zinc (Tabla 10), con una media de 1,10 ppm.

En la variable de la cantidad de materia orgánica del biofertilizante, el tratamiento TRH 4 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 120 días) registró mayor cantidad de materia orgánica (Tabla 10), con una media de 0,12 %. El tratamiento TRH 1 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 75 días) registró menor pH (Tabla 10), con una media de 0,09 %.

5.5. Análisis microbiológico del recuento de bacterias.

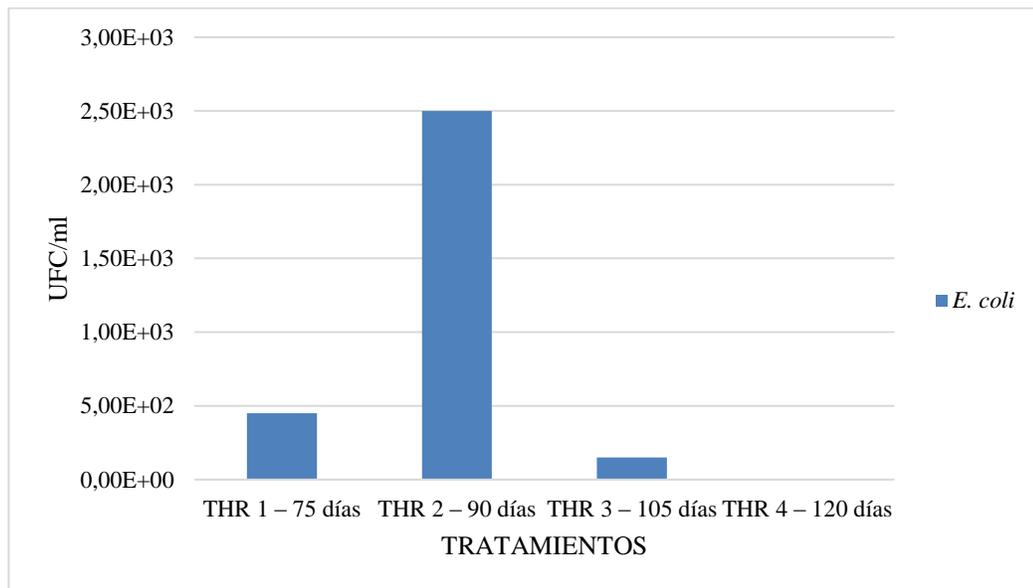


Ilustración 2. Recuento de *E. coli*.

En la variable del análisis microbiológico del recuento de bacterias de *E. coli*, el tratamiento TRH 2 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 90 días) registro mayor recuento de *E. coli*, con una media de $2,50 \times 10^3$ UFC/ml. El tratamiento TRH 4 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 120 días) registro

menor recuento de *E. coli*, con una media de $< 1 \times 10^{-1}$ UFC/ml.

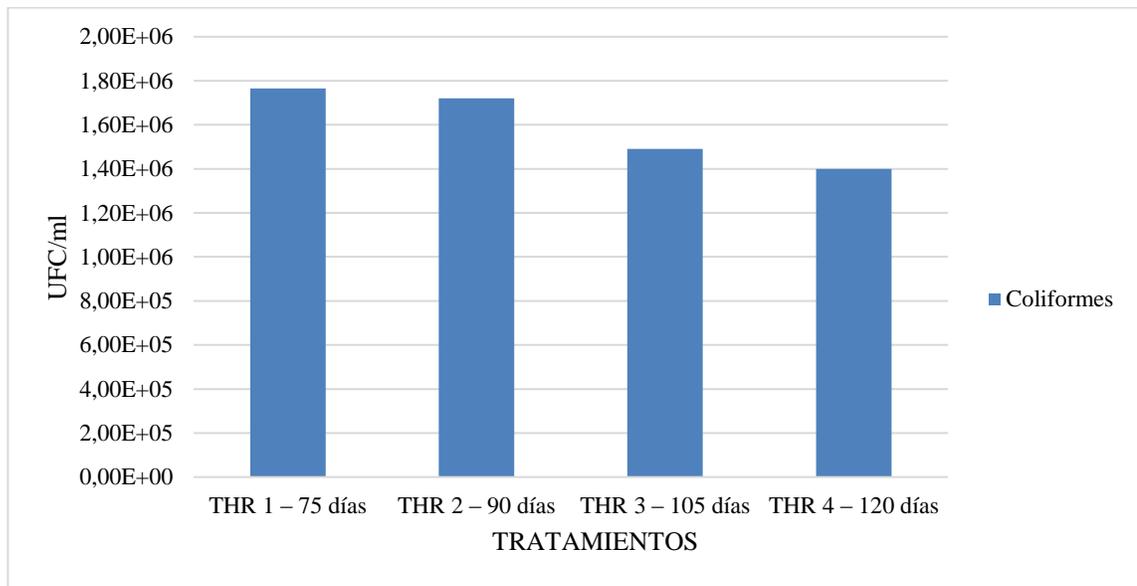


Ilustración 3. Recuento de Coliformes.

En la variable del análisis microbiológico del recuento de bacterias de coliformes, el tratamiento TRH 1 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 75 días) registro mayor recuento de coliformes, con una media de $1,77 \times 10^6$ UFC/ml. El tratamiento TRH 4 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 120 días) registro menor recuento de coliformes, con una media de $1,40 \times 10^6$ UFC/ml.

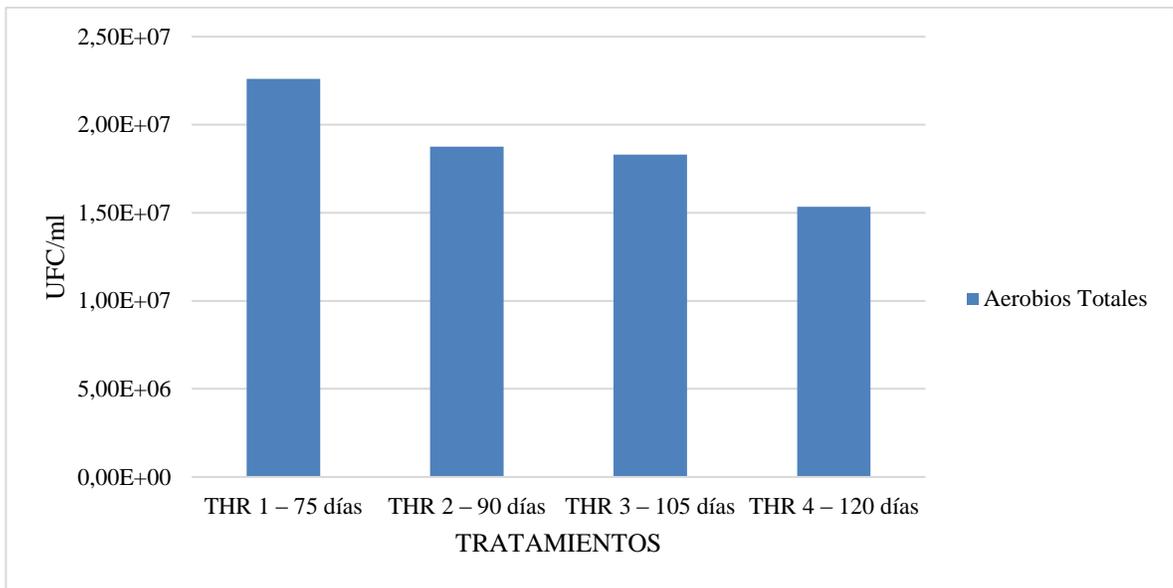


Ilustración 4. Recuento de Aerobios Totales.

En la variable del análisis microbiológico del recuento de bacterias de aerobios totales, el tratamiento TRH 1 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 75 días) registro mayor recuento de coliformes, con una media de $2,26 \times 10^7$ UFC/ml. El tratamiento TRH 4 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 120 días) registro menor recuento de aerobios totales, con una media de $1,54 \times 10^7$ UFC/ml.

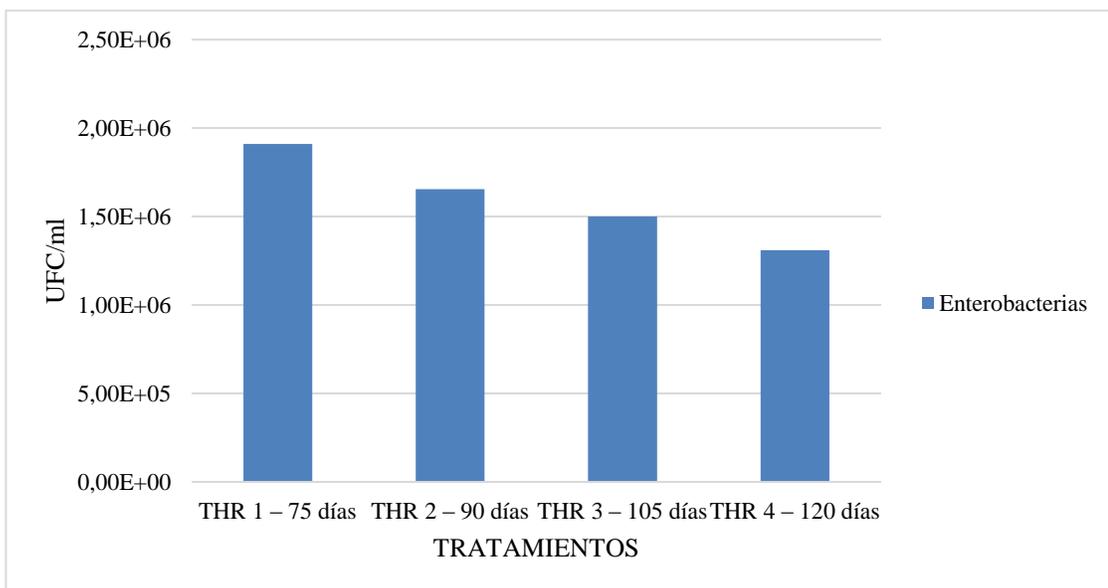


Ilustración 5. Recuento de Enterobacterias.

En la variable del análisis microbiológico del recuento de bacterias de enterobacterias, el tratamiento TRH 1 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 75 días) registro mayor recuento de coliformes, con una media de $1,91 \times 10^6$ UFC/ml. El tratamiento TRH 4 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 120 días) registro menor recuento de enterobacterias, con una media de $1,31 \times 10^6$ UFC/ml.

Tabla 10. Resultados de las variables con los diferentes tratamientos

VARIABLES	TRATAMIENTOS				E.E. ¹	C.V. ²	P- valor ³
	<u>THR 1 – 75</u> días	<u>THR 2 – 90</u> días	<u>THR 3 – 105</u> días	<u>THR 4 – 120</u> días			
pH del biofertilizante	<u>7,27 c</u>	<u>7,44 b</u>	<u>7,49 b</u>	<u>7,63 a</u>	<u>0,03</u>	<u>0,88</u>	<u><0,0001</u>
Conductividad eléctrica del biofertilizante (ms/cm)	<u>3,01 b</u>	<u>3,27 ab</u>	<u>3,51 ab</u>	<u>4,01 a</u>	<u>0,18</u>	<u>11,91</u>	<u>0,0096</u>
Cantidad de nitrógeno del biofertilizante (ppm)	<u>43,51 b</u>	<u>52,21 a</u>	<u>55,31 a</u>	<u>59,66 a</u>	<u>1,85</u>	<u>7,86</u>	<u>0,0001</u>
Cantidad de fósforo del biofertilizante (%)	<u>3,75 a</u>	<u>4,03 a</u>	<u>4,09 a</u>	<u>4,38 a</u>	<u>0,44</u>	<u>24,10</u>	<u>0,7950</u>
Cantidad de potasio del biofertilizante (%)	<u>0,38 b</u>	<u>0,65 a</u>	<u>0,67 a</u>	<u>0,76 a</u>	<u>0,05</u>	<u>18,10</u>	<u>0,0004</u>
Cantidad de calcio del biofertilizante (%)	<u>0,03 a</u>	<u>0,03 a</u>	<u>0,03 a</u>	<u>0,04 a</u>	<u>4,2E-03</u>	<u>30,67</u>	<u>0,3689</u>
Cantidad de magnesio del biofertilizante (%)	<u>0,08 b</u>	<u>0,09 ab</u>	<u>0,11 ab</u>	<u>0,14 a</u>	<u>0,01</u>	<u>25,93</u>	<u>0,0239</u>
Cantidad de cobre del biofertilizante (ppm)	<u>0,50</u>	<u>0,50</u>	<u>0,50</u>	<u>0,50</u>	<u>0,00</u>	<u>0,00</u>	<u>sd</u>
Cantidad de manganeso del biofertilizante (ppm)	<u>1,10 b</u>	<u>1,50 ab</u>	<u>1,70 ab</u>	<u>2,70 a</u>	<u>0,34</u>	<u>43,57</u>	<u>0,0269</u>
Cantidad de zinc del biofertilizante (ppm)	<u>1,10 b</u>	<u>1,10 b</u>	<u>1,30 ab</u>	<u>1,60 a</u>	<u>0,11</u>	<u>18,60</u>	<u>0,0127</u>
Cantidad de materia orgánica del biofertilizante (%)	<u>0,09 b</u>	<u>0,11 a</u>	<u>0,11 a</u>	<u>0,12 a</u>	<u>3,3E-03</u>	<u>6,96</u>	<u>0,0001</u>

¹E.E.: Error estándar. ²C.V.: Coeficiente de variación (%). ³P.: Probabilidad.

^{a-c} Medidas en la fila seguida de letras diferentes indican diferencias significativas (P<0,05).

CAPÍTULO VI CONCLUSIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS.

6.1. CONCLUSIONES

Al culminar el trabajo de investigación “Evaluación de un efluente líquido obtenido mediante biodigestores con diferentes Tiempos de Retención Hidráulica (TRH)” se concluye lo siguiente:

Existe una diferencia marcada en la respuesta de la evaluación de los efluentes líquidos obtenidos mediante biodigestores, frente a los tratamientos planteados en base a los diferentes tiempos de retención hidráulica, se determinó el contenido nutricional, microbiológico, pH y CE del biofertilizante obtenido de los digestores con diferentes tiempos de retención, siendo el tratamiento TRH 4 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 120 días) presento los mejores resultados.

En la determinación del mejor tiempo que influye en la calidad del biofertilizante (efluente líquido) en función a la retención hidráulica, el tratamiento TRH 4 (Salida del efluente líquido del biodigestor anaeróbico a los 120 días) presento como el mejor tiempo sobre la calidad del biofertilizante.

Con respecto a la hipótesis con el tiempo de retención hidráulica (75 días) en el proceso de digestión anaerobia no influyo de manera representativa sobre la calidad del efluente líquido para utilizar como biofertilizante.

6.2. BIBLIOGRAFÍA

- AEDES (Asociación Especializada para el Desarrollo Sostenible, PE), (2006). Manual de Elaboración de Abono Foliar Biol. Recuperado de: http://assets00.grou.ps/0F2E3C/wysiwyg_files/FilesModule/ingenieriaagronomica/20101007130815-zobjbencyianbldyg/Abonos_foliare_biolgicos_1_.pdf
- Agrowaste. (2013). Digestión anaerobia. Recuperado de: <http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/DIGESTION-ANAEROBIA.pdf>
- Aparcana, S. (2008). Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso "Fermentación anaeróbica" para producción de Biogás. Recuperado de: http://www.german-profec.com/cms/upload/Reports/Estudio%20sobre%20el%20Valor%20Fertilizante%20de%20los%20Productos%20del%20Proceso%20Fermentacion%20Anaerobica%20para%20Produccion%20de%20Biogas_ntz.pdf
- Cepero, L., Savran, V., Blanco, D., Díaz, M., Suárez, J., y Palacios, A. (2012). Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269125071009>
- Coaguila, P., Bardales, R., y Zeballos, O. (2019). Digestatos procedentes de la obtención de biogás a partir de purines vacunos en la producción de cebolla en zonas áridas. Recuperado de: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/2325>
- Criollo, E., y Guzmán, A. (2014). Elaboración de un Biodigestor piloto tubular para producción de Biogás a partir de estiércol de ganado vacuno en una vivienda de la comunidad de Tembo. Recuperado de: <http://dspace.esoch.edu.ec/handle/123456789/3398>
- EP-EMAPA. (2017). Análisis físico químico y microbiológico de agua correspondiente a la parroquia Rumipamba del Cantón Quero. Santa Rosa-Ambato.
- GAD Quero. (2011). Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del

Cantón Santiago de Quero - Provincia de Tungurahua. Quero. 167.

- González, L. (2015). Evaluación de un sistema de codigestión anaerobia de residuos agropecuarios. Recuperado de: <https://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/42104/1/GonzalezRodriguezLaura.pdf>
- Google Maps. (2017). Ubicación del lugar donde se realizará el proceso investigativo. Coordenadas Geográficas en Google Maps. Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS 84). Recuperado de: <https://www.coordenadas-gps.com/>
- Hayes, T., Jewell, W., Orto, D., Franconi, K., Genschener, A., y Sherman, D. (1979). Anaerobic digestion of cattle manure. Anaerobic digestion. Applied Science Publishers. London, England.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, I. (2015). Anuario Meteorológico Nro 52-2012. Recuperado de: [http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wpcontent/uploads/anuarios/meteorologicos/Am 2012.pdf](http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wpcontent/uploads/anuarios/meteorologicos/Am%202012.pdf)
- Laines, J., y Sosa, J. (2013). Degradación anaerobia del contenido gástrico ruminal bovino para la obtención de biogás, en un biodigestor tipo cúpula. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46729718005>
- Mansur, M. (2014). Tratamiento de aguas residuales en reactores anaeróbicos, de flujo ascendente, en manto de lodos (hdt027). Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/hdt/hdt27/hdt027.html>
- Martí, J., Alvarez, R., Rojas, M., Aliaga, L., Céspedes, R., y Carbonell, J. (2014). Biofilm de bajo costo para mejorar la digestión anaeróbica en regiones de clima frío con digestores tubulares. Recuperado de: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S240916182014000100011&script=sci_arttext&tlng=es
- Martí, N. (2008). Biodigestores Familiares, Guía de Diseño y Manual de Instalación. GTZ- Energía. Bolivia. Recuperado de: <http://www.bivica.org/upload/biodigestores->

familiares.pdf

Martí, N. (2002). Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process, Copyright, Boca Raton, Florida. Usa. 2006. Recuperado de: <http://www.bookpump.com/dps/pdf-b/1123329b.pdf>

MINENERGIA, PNUD, FAO & GEF. (2011). Manual de Biogás. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2015). Introducción de Biodigestores en Sistemas Agropecuarios en el Ecuador. Recuperado de: http://beegroup-cimne.com/kt-content/uploads/2017/02/2015_Manual_Biodigestores_Ecuador.pdf

Palacios, A. 2018. Referencia bibliográfica propia.

Pantaleo, A., Gennaro, B., y Shah, N. (2013). Assessment of optimal size of anaerobic co-digestion plants: An application to cattle farms in the province of Bari (Italy). Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/258322646_Assessment_of_optimal_size_of_anaerobic_co-digestion_plants_An_application_to_cattle_farms_in_the_province_of_Bari_Italy

Rodríguez, J. (2010). Estudio Comparativo de Diferentes Tecnologías de Higienización de Lodos de Depuradora Con Fines Para su Reutilización. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. Recuperado de: http://oa.upm.es/4042/1/JOSE_ALBERTO_RODRIGUEZ_MORALES.pdf

Reyes, C. (2015). Producción de biogás en digestor tubular para la sostenibilidad energética y mejorar la calidad de vida en la provincia de Yungay- distrito de Huashao - Ancash 2015. Recuperado de: http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2017/12/Reyes-Carlos_Huashao-Ancash.pdf

Soria, M., Ferrera, R., Etchevers, J., Alcántar, G., Trinidad, J., Borges, L., y Pereyda, G. (2001). Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/html/573/57319408/>

Sossa, J., y Alvarez, R. (2016). Modelación matemática del proceso de digestión anaerobia

en condiciones de clima frío utilizando biodigestores tubulares. Recuperado de:
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182016000100010

Sistema Biobolsa®. (2017). Manual de biol. Recuperado de:
<http://sistemabiobolsa.com/wp-content/uploads/2017/07/Manual-de-biol.27072017.1.pdf>

Sistema Biobolsa®. (2017). Manual de usuario, uso y mantenimiento del biodigestor. Recuperado de: <http://sistemabiobolsa.com/wp-content/uploads/2017/07/Manual-de-usuario.270717.pdf>

Tapia, A. (2015). Elección del sitio para el Biodigestor. Recuperado de:
<https://constructorelectrico.com/biodigestores>

Vallejo, M. (2013). Biodigestor como la potencial solución para el manejo de desechos orgánicos y la producción de energías alternativas. Recuperado de:
<http://www.metabioresor.eu/upmedios/image/Historia%20del%20Biog%C3%A1s.pdf>.

Villanueva, J., Nájera, H., Gómez, J., Hernández, T., y Velasco, A. (2011). Generación, caracterización y uso del biogás, producto de la digestión anaerobia de las excretas de ganado bovino. Recuperado de:
<http://cuid.unicach.mx/revistas/index.php/lacandonia/article/view/258/238>

7.3. ANEXOS

ANEXO 1. pH DEL BIOFERTILIZANTE.

TRATAMIENTOS	REPETICIONES					SUMA	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4	R5		
THR 1	7,23	7,23	7,22	7,22	7,45	36,35	7,27
THR 2	7,40	7,46	7,44	7,42	7,49	37,21	7,44
THR 3	7,42	7,61	7,49	7,45	7,49	37,46	7,49
THR 4	7,61	7,65	7,65	7,60	7,65	38,16	7,63

ANEXO 2. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL BIOFERTILIZANTE (ms/cm).

TRATAMIENTOS	REPETICIONES					SUMA	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4	R5		
THR 1	2,73	2,72	2,77	2,77	4,06	15,05	3,01
THR 2	3,06	3,06	3,08	3,08	4,08	16,36	3,27
THR 3	3,34	3,36	3,37	3,36	4,13	17,56	3,51
THR 4	3,96	3,97	3,96	4,00	4,16	20,05	4,01

ANEXO 3. CANTIDAD DE NITRÓGENO DEL BIOFERTILIZANTE (ppm).

TRATAMIENTO	REPETICIONES					SUMA	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4	R5		
THR 1	43,50	43,50	43,50	43,50	43,50	217,53	43,51
	6	6	6	6	6		

THR 2	52,82	52,82	43,50	55,93	55,93	261,03	52,21
	8	8	6	6	6		
THR 3	59,04	52,82	49,72	55,93	59,04	276,57	55,31
	3	8	1	6	3		
THR 4	62,15	55,93	52,82	62,15	65,25	298,32	59,66
	1	6	8	1	8		

ANEXO 4. CANTIDAD DE FOSFORO DEL BIOFERTILIZANTE (%).

TRATAMIENTO	REPETICIONES					SUMA	PROMEDI
	R1	R2	R3	R4	R5		
THR 1	2,556		3,977	3,977	5,113	18,75	3,75
	8	3,125	3	3	6		
THR 2	2,840	3,409	3,977	4,545	5,397	20,17	4,03
	9	1	3	5	7		
THR 3	2,840	3,409	3,977	4,829	5,397	20,45	4,09
	9	1	3	5	7		
THR 4	3,409	3,693	4,261	4,829	5,681	21,88	4,38
	1	2	4	5	8		

ANEXO 5. CANTIDAD DE POTASIO DEL BIOFERTILIZANTE (%).

TRATAMIENTOS	REPETICIONES					SUMA	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4	R5		
THR 1	0,22	0,21	0,65	0,33	0,49	1,90	0,38
THR 2	0,71	0,68	0,71	0,63	0,51	3,24	0,65
THR 3	0,71	0,72	0,73	0,59	0,62	3,37	0,67
THR 4	0,76	0,75	0,80	0,67	0,80	3,78	0,76

ANEXO 6. CANTIDAD DE CALCIO DEL BIOFERTILIZANTE (%).

TRATAMIENTOS	REPETICIONES					SUMA	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4	R5		
THR 1	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,13	0,03
THR 2	0,02	0,03	0,02	0,03	0,04	0,14	0,03
THR 3	0,02	0,03	0,03	0,03	0,05	0,16	0,03
THR 4	0,03	0,03	0,04	0,03	0,05	0,18	0,04

ANEXO 7. CANTIDAD DE MAGNESIO DEL BIOFERTILIZANTE (%).

TRATAMIENTOS	REPETICIONES					SUMA	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4	R5		
THR 1	0,06	0,08	0,07	0,06	0,14	0,41	0,08
THR 2	0,09	0,09	0,08	0,07	0,14	0,47	0,09
THR 3	0,11	0,10	0,08	0,11	0,15	0,55	0,11
THR 4	0,14	0,13	0,13	0,12	0,18	0,70	0,14

ANEXO 8. CANTIDAD DE COBRE DEL BIOFERTILIZANTE (ppm).

TRATAMIENTOS	REPETICIONES					SUMA	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4	R5		
THR 1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	2,50	0,50
THR 2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	2,50	0,50
THR 3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	2,50	0,50
THR 4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	2,50	0,50

ANEXO 9. CANTIDAD DE MANGANESO DEL BIOFERTILIZANTE (ppm).

TRATAMIENTOS	REPETICIONES					SUMA	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4	R5		
THR 1	0,50	1,00	1,00	1,00	2,00	5,50	1,10
THR 2	1,50	1,50	1,50	1,00	2,00	7,50	1,50
THR 3	1,50	1,50	1,50	1,50	2,50	8,50	1,70
THR 4	5,00	2,00	2,00	2,00	2,50	13,50	2,70

ANEXO 10. CANTIDAD DE ZINC DEL BIOFERTILIZANTE (ppm).

TRATAMIENTOS	REPETICIONES					SUMA	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4	R5		
THR 1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,50	5,50	1,10
THR 2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,50	5,50	1,10
THR 3	1,50	1,00	1,00	1,50	1,50	6,50	1,30
THR 4	1,50	1,50	1,50	2,00	1,50	8,00	1,60

ANEXO 11. CANTIDAD DE MATERIA ORGÁNICA DEL BIOFERTILIZANTE (%)

TRATAMIENTOS	REPETICIONES					SUMA	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4	R5		
THR 1	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,45	0,09
THR 2	0,11	0,11	0,09	0,11	0,11	0,53	0,11
THR 3	0,12	0,11	0,10	0,11	0,12	0,56	0,11
THR 4	0,12	0,11	0,11	0,12	0,13	0,59	0,12

ANEXO 12. RECUENTO DE *E. coli* DEL BIOFERTILIZANTE (UFC/ml).

	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
THR 1	$4,50 \times 10^2$	$\pm 5,00 \times 10^1$
THR 2	$2,50 \times 10^3$	$\pm 5,00 \times 10^2$
THR 3	$1,50 \times 10^2$	$\pm 5,00 \times 10^1$
THR 4	$< 1,00 \times 10^{-1}$	$\pm < 1 \times 10^{-1}$

ANEXO 12. RECUENTO DE COLIFORMES DEL BIOFERTILIZANTE (UFC/ml).

TRATAMIENTOS	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
THR 1	$1,77 \times 10^6$	$\pm 1,50 \times 10^4$
THR 2	$1,72 \times 10^6$	$\pm 1,00 \times 10^4$
THR 3	$1,49 \times 10^6$	$\pm 1,00 \times 10^4$
THR 4	$1,40 \times 10^6$	$\pm 5,00 \times 10^4$

ANEXO 13. RECUENTO DE ENTEROBACTERIAS DEL BIOFERTILIZANTE (UFC/ml).

TRATAMIENTOS	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
THR 1	$1,91 \times 10^6$	$\pm 1,00 \times 10^4$
THR 2	$1,66 \times 10^6$	$\pm 1,05 \times 10^5$
THR 3	$1,50 \times 10^6$	$\pm 3,00 \times 10^4$
THR 4	$1,31 \times 10^6$	$\pm 8,00 \times 10^4$

ANEXO 15. RECUENTO DE AEROBIOS TOTALES DEL BIOFERTILIZANTE (UFC/ml).

TRATAMIENTOS	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
THR 1	$2,26 \times 10^7$	$\pm 3,00 \times 10^6$
THR 2	$1,88 \times 10^7$	$\pm 5,00 \times 10^4$
THR 3	$1,83 \times 10^7$	$\pm 2,00 \times 10^5$
THR 4	$1,54 \times 10^7$	$\pm 8,50 \times 10^5$

CAPÍTULO VII PROPUESTA

7.1. DATOS INFORMATIVOS

TÍTULO: “EVALUACIÓN DE UN EFLUENTE LÍQUIDO OBTENIDO MEDIANTE BIODIGESTORES CON DIFERENTES TIEMPOS DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (TRH)”

Beneficiarios:

Comunidad en general

Ubicación:

En el sector de Chocalo El Mirador, correspondiente a la parroquia Rumipamba, ubicado en el cantón Quero se encuentra ubicado en el centro sur de la provincia de Tungurahua, al sur oriente de la ciudad de Ambato, su altitud es de 3420 m.s.n.m., en las coordenadas geográficas son: 01° 26´ 35.50´´ de latitud Sur y 78° 37´ 43.48´´ de longitud Oeste. Los terrenos son irregulares y con mucha pendiente, la textura de los suelos en su mayoría es franca arcillosa, bien drenado, la fluctuación de la temperatura es de 7° C a 18° C.

7.2. ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

De acuerdo con los resultados de laboratorio del análisis físico, químico y microbiológico del Biofertilizante se obtuvo que los mejores resultados fue el Tratamiento No.4, del efluente líquido (biol) obtenido del biodigestor anaeróbico a los 120 días.

7.3. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se realizó con el fin de demostrar que en climas frío puede funcionar un biodigestor anaerobio aumentando tiempos de retención hidráulica y los múltiples beneficios que puede brindar al sector agropecuario como: biofertilizante, biogás y cero riesgos de contaminación. En la localidad se dedica a la producción agrícola y ganadera, para fertilización de los campos aplican un alto contenido de agroquímicos que a largo plazo eso puede ocasionar un alto riesgo de salinidad de los suelos y sin suplementar materia orgánica como también un alto costo económico. El agricultor como el ganadero pueden elaborar su propio fertilizante sin ningún costo, utilizando únicamente material orgánico como: estiércol de diferentes animales de granja o desechos orgánicos.

7.4. OBJETIVOS

Determinar la calidad del biol (biofertilizante) de acuerdo a los diferentes tiempos de retención hidráulica de los biodigestores anaeróbicos que están expuestos a las mismas condiciones climáticas (frías).

7.5. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

Esta propuesta es factible de realizar, ya que se cuenta con los aspectos técnicos necesarios como conocimiento y manejo.

Desde el punto de vista económico y financiero esta es una propuesta que requiere una inversión muy alta, ya que se trata de la construcción de los biodigestores y elaboración del invernadero.

Dentro del factor social, esta propuesta es factible de realizar porque existe un cierto

interés de los agricultores como de los ganaderos de poder obtener un biofertilizante sin altos costos de mano de obra.

7.6. FUNDAMENTACIÓN

En el Ecuador, para la producción agrícola y ganadera de la región andina se requiere fertilizar los suelos constantemente con un alto valor por ellos se trata de implementar una nueva tecnología de bajo costo como son los biodigestores anaerobios donde no represente un alto valor económico.

7.7. METODOLOGÍA, MODELO OPERATIVO

7.7.1. Selección del lugar.

El ensayo se situó cerca del lugar de pastoreo del ganado bovino con el fin de facilitar la recogida del estiércol fresco de cada mañana, como también se consideró la ubicación del ensayo frente a las fuertes ráfagas de viento.

7.7.2. Muestreo de las excretas del ganado.

Se realizó un muestreo y pesado de las excretas de ganado bovino, esta lectura se efectuó por un periodo de 10 días consecutivos donde se obtuvo un valor promedio y constante de 60 kilos de estiércol fresco disponible para cada día.

7.7.3. Diseño de los biodigestores.

Con el valor exacto de la cantidad de estiércol disponible se procedió con los cálculos de las dimensiones de los biodigestores anaerobios, zanjas y del diseño del invernadero. Tomando en cuenta el diseño experimental de 4 tratamientos es decir 4 biodigestores con la misma medición de ancho, pero con diferente medición de longitud, por 5 repeticiones dando un total de 20 biodigestores anaerobios.

Tabla 11: Dimensiones de los biodigestores anaeróbicos.

DATOS:	Tratm. No.1	Tratm. No.2	Tratm. No.3	Tratm. No.4	Unidades
Radio	0,32	0,32	0,32	0,32	m
Pi	3,1416	3,1416	3,1416	3,1416	

Cantidad de estiércol disponible:	3	3	3	3	Kg estiércol/día
Relación Agua : Estiércol	3	3	3	3	litros/1Kg de estiércol
Tiempo de Retención:	75	90	105	120	días

REQUERIMIENTOS	Tratm. No.1	Tratm. No.2	Tratm. No.3	Tratm. No.4	Unidades
Cantidad de agua:	9	9	9	9	litros de agua/día
Carga diaria:	12	12	12	12	litros carga/día
Volumen líquido del digestor:	900	1.080	1.260	1.440	litros
Volumen gaseoso del digestor:	299,97	359,96	419,96	479,95	litros
Volumen total del digestor:	1.199,97	1.439,96	1.679,96	1.919,95	litros
Volumen Total del Digestor:	1,20	1,44	1,68	1,92	m ³

DIMENSIONES:	Tratm. No.1	Tratm. No.2	Tratm. No.3	Tratm. No.4	Unidades
Diámetro del digestor:	0,64	0,64	0,64	0,64	m
Ancho del digestor:	2,01	2,01	2,01	2,01	m
Longitud del digestor:	3,73	4,48	5,22	5,97	m
Área del digestor:	7,50	9,00	10,50	12,00	m ²
Relación óptima longitud/diámetro del biodigestor:	SI 5,83	SI 6,99	SI 8,16	SI 9,33	Entre 5 a 10 (óptimo 7)

DIMENSIONES REALES:	Tratm. No.1	Tratm. No.2	Tratm. No.3	Tratm. No.4	Unidades
----------------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	-----------------

Ancho Real del	2,21	2,21	2,21	2,21	m
digestor:					
Longitud Real del	4,73	5,48	6,22	6,97	m
digestor:					
Área Real del	10,46	12,11	13,75	15,40	m ²
digestor:					

Elaborado por: Palacios, 2018

7.7.4. Construcción de los biodigestores.

Para la construcción de los 20 biodigestores, se utilizó mangas de geomembrana termoselladas en las mismas que se instalaron acoples de tanque tipo rosca que se colocó en el centro de la manga y posteriormente se colocó dos tubos de PVC 4” en los extremos de la manga, para evitar fugas de biol se selló utilizando ligas de neumáticos.

7.7.5. Requerimiento del área.

El ensayo se realizó en un área de 192 metros cuadrados con 24m de largo y 8m de ancho.

7.7.6. Nivelación y trazado del ensayo.

Para esto se procedió a nivelar el área del ensayo con sus respectivas distancias entre tratamientos y repeticiones.

7.7.7. Excavación de las zanjas.

Se excavó 20 zanjas que consta de las siguientes dimensiones: 0,74 m del ancho superior de la zanja; 0,54 m del ancho inferior de la zanja; 0,48 m de profundidad y las dimensiones de longitud de las zanjas variaron de acuerdo al tratamiento de 3,83 m, 4,60 m, 5,32 m y 6,07 m.

7.7.8. Construcción del invernadero.

Para la construcción del invernadero, se utilizó una estructura de madera cubierta con plástico blanco, el cual sirvió para dar a los biodigestores una temperatura estable.

7.7.9. Colocación del aislamiento de la zanja.

Para el aislamiento en las zanjas se utilizó paja de la zona, la misma que fue esparcida uniformemente al contorno del arco del círculo.

7.7.10. Colocación del biodigestor en la zanja.

Una vez que las zanjas tenían el aislamiento se procedió a colocar los 20 biodigestores, luego se niveló la entrada del efluente y la salida del biol, para la colocación de los 20 biodigestores se procedió a preparar zanjas con su respectivo aislamiento, los mismos que se nivelaron para la entrada del efluente y la salida del biol.

7.7.11. Instalación de sensores.

Se instaló 20 sensores de temperatura en el interior de los biodigestores, otro sensor de temperatura y humedad relativa se colocó dentro del invernadero y un sensor de temperatura al exterior del invernadero.

7.7.12. Materiales de la zanja.

- Paja de la zona

7.7.13. Materiales del biodigestor.

- Polietileno tubular (500 micras color negro).
- Tubo PVC 4".
- Pegamento de tubos de PVC.
- Acople tanque ½".
- Tee PVC ½".
- Tapón macho PVC ½".
- Teflón.
- Liga de neumático.

7.7.14. Materiales del invernadero.

- Tiras de madera de 3m de ancho.
- Tablas.
- Plástico solar.
- Clavos ½".
- Alambre de amarre.

7.7.15. Materiales para el ingreso de carga diaria.

- Estiércol de ganado bovino.

- Agua.
- Tanque plástico de 250 litros.
- Paleta de madera.
- Balde de 20 litros.
- Pala.

7.7.16. Otros materiales.

- Flexómetro.
- Pala.
- Alicates.
- Alambre.
- Azadón.
- Piola.
- Estacas.
- Desarmador.
- Guantes.
- Fundas Ziploc.
- Letreros de identificación.
- Etiquetas.
- Lápiz.
- Libreta de campo.
- Botella plástica.

7.7.17. Equipos.

- Equipo de pH.
- Equipo de conductividad eléctrica.
- Sensores de temperatura.

- Sensor de humedad.
- GPS métrico.
- Computadora (Programas).
- Cámara fotográfica.

7.8. ADMINISTRACIÓN

Organización General: Decanato de la Facultad de Ciencias Agropecuarias. Aval académico: Subdecanato de la Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Ente ejecutor: DIVISO (Dirección de Vinculación con la Sociedad) Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Organización Logística: Coordinación de Carrera Ingeniería Agronómica.