



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

CARRERA MEDIO AMBIENTE

**TESIS PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MEDIO AMBIENTE**

TEMA:

**EVALUACIÓN DE RELACIONES ENTRE GALLINAZA Y AGUA
EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN LA GRANJA AVÍCOLA
“ZAMBRANO PONCE” DEL CANTÓN CHONE**

AUTORAS:

**MONTESDEOCA ZAMBRANO GÉNESIS PENÉLOPE
SALAZAR CHANALATA ANGÉLICA MARÍA**

TUTOR:

ING. JOFFRE ANDRADE CANDELL, M.Sc.

CALCETA, JUNIO 2017

DERECHOS DE AUTORÍA

Génesis Penélope Montesdeoca Zambrano y Angélica María Salazar Chanalata, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su reglamento.

Génesis P. Montesdeoca Zambrano

Angélica M. Salazar Chanalata

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

Joffre Alberto Andrade Candell certifica haber tutelado la tesis **EVALUACIÓN DE RELACIONES ENTRE GALLINAZA Y AGUA EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN LA GRANJA AVÍCOLA “ZAMBRANO PONCE” DEL CANTÓN CHONE**, que ha sido desarrollada por Génesis Penélope Montesdeoca Zambrano y Angélica María Salazar Chanalata, previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Ing. Joffre Alberto Andrade Candell, M.Sc.

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** la tesis titulada **EVALUACIÓN DE RELACIONES ENTRE GALLINAZA Y AGUA EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN LA GRANJA AVÍCOLA “ZAMBRANO PONCE” DEL CANTÓN CHONE**, que ha sido propuesta, desarrollada y sustentada por Génesis Penélope Montesdeoca Zambrano y Angélica María Salazar Chanalata, previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Ing. Ricardo Delgado Villafuerte, M.Sc.

MIEMBRO

Ing. Jorge Cevallos Bravo, M.Sc.

MIEMBRO

Ing. Carlos Villafuerte Vélez, M.Sc.

PRESIDENTE

AGRADECIMIENTO

A Dios, fuente primordial en nuestras vidas, quien nos ha brindado la fortaleza necesaria para seguir adelante en nuestra meta tan anhelada de ser ingenieras,

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, institución de prestigio, la cual nos dio la oportunidad de recibir los conocimientos y valores necesarios para formarnos como profesionales de calidad,

A nuestro tutor, Ing. Joffre Andrade, por su compromiso y dedicación constante; y por aportar con sus valiosos conocimientos en esta investigación,

A los honorables miembros del tribunal de la línea de Energías Alternativas de la carrera de Ingeniera Ambiental, por ser una guía importante en el desarrollo de nuestra investigación,

Al señor Diocles Zambrano, por permitirnos desarrollar nuestra investigación en las instalaciones de su granja,

A nuestro amigo Deivy Ormaza, por su colaboración y apoyo incondicional,

A nuestros padres y hermanos que de una u otra manera nos han incentivado y apoyado a lo largo de este camino universitario para lograr el objetivo de ser profesionales.

Génesis Montesdeoca Zambrano

Angélica Salazar Chanalata

DEDICATORIA

A Dios, quién supo guiarme por el buen camino y me dio las fuerzas necesarias para seguir adelante y no desfallecer ante las adversidades presentadas.

A mi madre Vicenta Zambrano, por ser la mujer que más amo y admiro en el mundo; por su esfuerzo, sacrificio y amor incondicional, que me ayudaron y motivaron a alcanzar cada una de mis metas.

A mi padre y hermano, por todo su apoyo y por ser pilares fundamentales en mi vida. A mi hermana, que desde el cielo siempre ha sido mi guía y fortaleza.

A mi abuelito Gilberto, mi segundo padre, a quien quiero tanto y ha sido una inspiración en el transcurso de mi vida.

Y a mis amigas Angélica, Sarahy y Maybe, por su amistad incondicional y por haber estado en los buenos y malos momentos.

Génesis Montesdeoca Zambrano

DEDICATORIA

A Dios, por haberme dado la inteligencia, paciencia y por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida.

A mi madre Antonia, por haberme apoyado en todo momento, por sus sacrificios, sus consejos, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada por su amor.

A mi padre, por creer en mí, por su apoyo moral y económico para poder llegar a ser una profesional.

A mis hermanas, por sus palabras de aliento y compañía, a mi sobrino Steban, por llenar de alegría y amor cada día de mi vida.

Gracias también a mis queridas amigas, que me permitieron ser parte de sus vidas estos 5 años: Penélope, Maybe y Sarahy.

Angélica Salazar Chanalata

CONTENIDO GENERAL

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Hipótesis, premisas y/o ideas a defender.....	3
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Producción de biogás a partir de excretas	4
2.2. Estudios referentes al uso de gallinaza para la generación de biogás..	8
2.3. Uso de gallinaza para la generación de biogás.....	10
2.4. Residuos agrícolas.....	14
2.5. Biodigestores en la producción de biogás.....	15
2.6. Rentabilidad en la producción de biogás.....	18
2.7. Relación entre presión y volumen	19
2.8. Temperatura.....	19
2.9. Diseño completamente al azar (dca).....	21
2.10. Análisis de varianza	22
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO	24
3.1. Ubicación	24
3.2. Duración del trabajo	25
3.3. Factor en estudio	25
3.4. Tratamientos	25
3.5. Diseño experimental.....	25

3.6. Unidad experimental	26
3.7. Variables a medir	26
3.7.1. Variable dependiente.....	26
3.7.2. Variable independiente	26
3.8. Parámetros a monitorear.....	26
3.9. Análisis estadístico.....	26
3.9.1. Análisis de varianza (anova).....	27
3.10. Otros aspectos.....	27
3.10.1. Fase 1. Aplicación de diferentes relaciones de gallinaza y agua en los biodigestores	27
3.10.2. Fase 2. Medición de la cantidad de biogás en los diferentes tratamientos	29
3.10.3. Fase 3. Determinación del costo de producción de biogás del mejor tratamiento	30
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
4.1. Instalación de los biodigestores.....	32
4.1.1. Cálculo del volumen de los biodigestores	32
4.1.2. Cálculo del volumen de los recipientes para el llenado de los biodigestores.....	32
4.1.3. Estiércol disponible en la granja.....	33
4.1.4. Carga de la mezcla de entrada	33
4.2. Medición de la cantidad de biogás en los diferentes tratamientos	33
4.2.1. Datos de temperatura.....	33
4.2.2. Datos de presión	39
4.2.3. Medición del volumen del gas producido	45
4.2.4. Variables analizadas estadísticamente	50
4.3. Determinación del costo de producción del biogás.....	51

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
5.1. Conclusiones.	53
5.2. Recomendaciones	53
BIBLIOGRAFÍA	54
ANEXOS	64

CONTENIDO DE CUADROS, GRÁFICOS E IMÁGENES

CUADROS

2. 1. Composición bioquímica del biogás.	5
2. 2. Componentes del biogás en función del sustrato utilizado.....	5
2. 3. Tipificación de materias primas.	8
2. 4. Efectos de deyecciones avícolas.	11
2. 5. Estimación de la producción de gallinaza.	12
2. 6. Valor nutricional de la gallinaza.	12
2. 7. Valor como abono de la gallinaza.....	12
2. 8. Composición química y física de la gallinaza.	13
2. 9. Composición química de la gallinaza.	13
3. 1. Características del cantón Chone.....	24
3. 2. Combinaciones de los niveles.	25
3. 3. Tratamientos.....	25
3. 4. Diseño experimental.	25
3. 5. Descripción de las unidades experimentales.....	26
3. 6. Parámetros a monitorear.	26
3. 7. Análisis de Varianza.	27
4. 1. Estiércol disponible.....	33
4. 2. Carga de la mezcla de entrada.....	33
4. 3. Valores de temperatura en grados Celsius.	34
4. 4. Valores de temperatura en grados Kelvin.....	36

4. 5. Valores de presión en PSI.....	40
4. 6. Valores de presión en Pascales.....	42
4. 7. Masa determinada por tratamiento en Kg.....	46
4. 8. Masa determinada por tratamiento en mol.	47
4. 9. Volumen del gas generado en cada unidad experimental.	48
4. 10. ANOVA (Análisis de Varianza).....	50
4. 11. Materia prima (Mp).....	51
4. 12. Mano de obra directa (Mod).	51
4. 13. Gastos de producción (Gp).	51

GRÁFICOS

Gráfico 4. 1. Representación de promedios entre la relación de temperatura y volumen	37
Gráfico 4. 2. Representación de promedios entre la relación de temperatura y volumen del tratamiento 2.	38
Gráfico 4. 3. Representación de promedios entre la relación de temperatura y volumen del tratamiento 3.	39
Gráfico 4. 4. Representación de promedios entre la relación de presión y volumen del tratamiento 1.	43
Gráfico 4. 5. Representación de promedios entre la relación de presión y volumen del tratamiento 2.	44
Gráfico 4. 6. Representación de promedios entre la relación de presión y volumen del tratamiento 3.	45
Gráfico 4. 7. Volumen de biogás producido de acuerdo a cada tratamiento.	49
Gráfico 4. 8. Promedio de la producción de biogás de acuerdo a la cantidad de gallinaza utilizada.....	50

IMÁGENES

3. 1. Ubicación granja avícola "Zambrano Ponce".....	24
--	----

RESUMEN

La investigación planteada se ejecutó en la granja avícola “Zambrano Ponce”, ubicada en el sitio La Estrella del cantón Chone, Provincia de Manabí. El objetivo de esta investigación fue evaluar las relaciones entre gallinaza y agua en la producción de biogás. Para su efecto, se implementaron 9 biodigestores en contenedores de polietileno, con 3 tratamientos y 3 repeticiones cada uno, utilizando cantidades de 10, 20 y 30 Kg de gallinaza y 6 Kg de residuos agrícolas, con un volumen de 20, 30 y 40 Lt de agua respectivamente. Posterior a la instalación de los biodigestores, se procedió a realizar el monitoreo de parámetros físicos como la temperatura y la presión a todas las unidades experimentales, en un periodo de 31 días. Se obtuvieron volúmenes promedio generados en los tratamientos 1, 2, y 3 con valores de 7,27 m³, 13,40 m³ y 15,55 m³ respectivamente, determinándose que el tercer tratamiento generó un mayor volumen de biogás. Los resultados de la investigación fueron representados mediante gráficos de regresión lineal, reflejando así, que no hubo una mayor significancia entre los mismos en la generación del gas. Para el análisis estadístico de las variables en estudio se empleó el software SPSS, mediante el cual se logró obtener el Análisis de Varianza (ANOVA), cuyos datos reflejaron que no se encontraron diferencias estadísticas significativas. El desarrollo de la investigación es una alternativa ambiental, que transforma un gran problema de contaminación en un recurso provechoso y limpio.

PALABRAS CLAVE: Biodigestores, contenedores de polietileno, número de moles, metanogénesis, ANOVA

ABSTRACT

The research was carried out at the poultry farm "Zambrano Ponce", located on the place La Estrella del cantón Chone, Province of Manabí. The objective of this research was to evaluate the relationships between gallinaza and water in biogas production. For this purpose, 9 containers were implemented in polyethylene containers, with 3 treatments and 3 replicates each, using quantities of 10, 20 and 30 Kg of chicken manure and 6 Kg of agricultural residues, with a volume of 20, 30 and 40 Lt of water respectively. After the installation of the containers, physical parameters such as temperature and pressure were monitored in all experimental units, in a period of 31 days. Average volumes generated in treatments 1, 2, and 3 were obtained with values of 7,27 m³, 13,40 m³ and 15,55 m³ respectively, being determined that the third treatment generated a larger volume of biogas. The results of the research were represented by linear regression graphs, thus reflecting that there was no greater significance among them in gas generation. Statistical analysis of the variables in the study was performed using the SPSS software, which obtained the Analysis of Variance (ANOVA), whose data showed that no significant statistical differences were found. The development of research is an environmental alternative, which transforms a large problem of pollution into a resourceful and clean resource.

KEY WORDS: Containers, polyethylene containers, number of moles, methanogenesis, ANOVA

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El uso excesivo de combustibles fósiles como fuente de energía ha disminuido significativamente a nivel mundial, razón por la cual en varios países de América y Europa se está aprovechando desechos agropecuarios y avícolas, como nueva alternativa para la producción de energías limpias como el biogás (Moncayo, 2007). El biogás es un tipo de energía renovable de fácil obtención, que puede llegar a suplantar el uso de combustibles fósiles disminuyendo así, la contaminación ambiental (Pascual, 2011).

Mundialmente, la producción avícola es considerada de gran relevancia, debido a que posee fuentes proteicas que son fundamentales para satisfacer las necesidades de la población (Piad, 2001). Los diferentes sistemas de avicultura, deben incluir un programa de buen manejo de los desechos, que permita generar mayores ingresos económicos y contrarrestar efectos adversos en el medio ambiente (North, 2002).

En América Latina, se destaca el caso de Cuba, en donde Ortiz (2004), señala que la producción de excretas de gallina sobrepasa las 50.000 toneladas anuales. El mal olor generado por estas deposiciones, es sin duda, una de las mayores problemáticas socio-ambientales de la actualidad, ya que la gallinaza contiene varios compuestos orgánicos que son perjudiciales para la salud de las personas aledañas a las granjas avícolas (Afaba, 2008).

En el Ecuador, los sistemas de producción aviar generan serios problemas ambientales, debido a la cantidad de sustancias contaminantes procedentes de estos residuos (Belduma, 2015). Con referencia a lo anterior, es conveniente implementar tecnologías de digestión anaerobia, que permitan aprovechar y manejar adecuadamente los diferentes tipos de residuos, transformándolos en una fuente de energía alternativa (Navaratnasamy, 2008).

Actualmente en el país no existe una entidad gubernamental que proporcione una información real con respecto a la producción de gallinaza, por ende no se ha logrado establecer con exactitud el valor anual de dicha producción (Orellana, 2007). Adicionalmente el autor establece que las zonas de mayor producción avícola se encuentran ubicadas en la región sierra, prevaleciendo las provincias de Tungurahua y Cotopaxi, y en los últimos años, con un notable crecimiento la provincia de Manabí.

La avícola “Zambrano Ponce” se encuentra ubicada en el sitio “La Estrella” del cantón Chone, ésta se dedica a la cría y sustento de pollos para el consumo; sin embargo, la granja no cuenta con alternativas que le permitan brindar un aprovechamiento adecuado a los residuos de gallinaza. Por tal razón, se ha considerado de vital importancia darle un valor agregado a éstas deposiciones, por medio de la producción de biogás; de manera que se aproveche la gallinaza y al mismo tiempo se disminuya la contaminación.

Ante la eventual situación, se plantea la siguiente interrogante: ¿Qué relación entre gallinaza y agua genera una mayor cantidad de biogás?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El Ecuador posee un gran potencial avícola del cual podrían obtenerse numerosos beneficios para el ser humano y el medio ambiente (Samayoa, 2012). Diferentes autores proponen varias opciones para mitigar los impactos negativos producidos por los residuos avícolas, además se han buscado alternativas más eficaces e incluso que sean capaces de generar ingresos. Una de estas alternativas es producir biogás a partir de la gallinaza. La producción de biogás es una actividad económica más beneficiosa y menos contaminante que las tradicionales fuentes de energía (Carrillo, 2004).

El Plan Nacional del Buen Vivir en su objetivo 7 estipula: “El derecho ciudadano a vivir en un ambiente sano, libre de contaminación y sustentable, y la garantía de los derechos de la naturaleza”. En base a lo expuesto, esta investigación

tiene como finalidad realizar un estudio técnico y práctico sobre la evaluación de la producción de biogás a partir de la gallinaza generada en la granja avícola “Zambrano Ponce”. Con ello, se logrará aprovechar los residuos procedentes de la avicultura para producir biogás, transformando así, un gran problema de contaminación en un recurso provechoso y limpio (Bautista, 2010).

La investigación, contribuirá en beneficio de la granja avícola “Zambrano Ponce” y el medio ambiente, evitando: la acumulación de materia orgánica de fácil descomposición, la proliferación de malos olores, la generación de gases tóxicos y la presencia de insectos y roedores. Así mismo, será un instrumento técnico de relevancia, encaminado al cuidado de la salud ambiental y el aprovechamiento de los residuos.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar las relaciones entre gallinaza y agua en la producción de biogás en la granja avícola “Zambrano Ponce” del cantón Chone.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar diferentes relaciones de gallinaza y agua en los biodigestores.
- Medir la cantidad de biogás en los diferentes tratamientos.
- Determinar el costo de producción del biogás.

1.4. HIPÓTESIS, PREMISAS Y/O IDEAS A DEFENDER

Con una apropiada relación entre gallinaza y agua, aumentará significativamente el volumen del biogás.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE EXCRETAS

El tratamiento de excretas humanas y animales en sistemas de biogás favorece las condiciones del entorno, debido a que los patógenos presentes en el excremento se reducen significativamente por medio del proceso de fermentación (Rose, 1999).

La conversión bioquímica es un mecanismo sobresaliente para la transformación de la biomasa en biogás, además de ser un ciclo natural que comprende varios procesos bacterianos y enzimáticos simultáneamente (Silva, 2009).

El biogás es una mezcla de gases compuesta principalmente por dióxido de carbono y metano, ésta composición depende del funcionamiento y del material digerido durante el proceso (Mandujano *et al.*, 1981).

Por su parte Gülzow (2010), establece que el biogás se produce mediante un proceso biológico en ausencia de oxígeno, en donde la materia orgánica se descompone formando una mezcla de gases conocida como biogás.

El biogás es un tipo de energía alternativa que puede ser empleado como cualquier otro combustible, tanto para la cocción de alimentos, en sustitución de la leña, el keroseno, el gas licuado, etc., como para generar energía eléctrica mediante turbinas o plantas generadoras a gas, hornos, estufas, calderas, u otros sistemas de combustión a gas (Chacón, 2010).

El biogás está constituido por un conjunto de gases y su composición obedece al tipo de biomasa usada para su producción y a las condiciones de trabajo del reactor donde se da la transformación (Ortega, 2007).

Según Silva (2010), el biogás contiene aproximadamente un 60% de metano y 40% de dióxido de carbono; en lo general, clasifica su composición de la siguiente manera:

Cuadro 2. 1. Composición bioquímica del biogás.

COMPONENTE	FÓRMULA QUÍMICA	%VOLUMEN
Metano	CH ₄	60-70
Gas Carbónico	CO ₂	30-40
Hidrógeno	H ₂	1.0
Nitrógeno	N ₂	0.5
Monóxido de Carbono	CO	0.1
Oxígeno	O ₂	0.1
Ácido Sulfhídrico	H ₂ S	0.1

Fuente: Silva, (2010).

Por otro lado Hulshoof (2008), indica que el biogás es una mezcla de gases generados por reacciones microbiológicas, compuesto por: metano de 50% a 75%; dióxido de carbono de 25% a 50%; nitrógeno, hidrógeno y sulfuro de hidrógeno de 1% a 5%. Así mismo, expresa que la composición del biogás varía según el tipo de sustrato, el tiempo y los pre-tratamientos que se den durante el proceso de obtención del gas. Castells (2005), presenta la composición del biogás obtenido a partir de la fermentación de diferentes tipos de residuo:

Cuadro 2. 2. Componentes del biogás en función del sustrato utilizado.

COMPONENTE	RESIDUOS GANADEROS	RESIDUOS AGRÍCOLAS	FANGOS DE DEPURADORAS	RESIDUOS MUNICIPALES	GAS DE VERTEDERO
Metano	50-80%	50-80%	50-80%	50-70%	45-60%
Dióxido de carbono	30-50%	30-50%	20-50%	30-50%	40-60%
Agua	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado
Hidrógeno	0-2%	0-2%	0-5%	0-2%	0-0,2%
Sulfuro de hidrógeno	0-1%	100-700ppm	0-1%	0-8%	0-1%
Amoniaco	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas
Monóxido de carbono	0-1%	0-1%	0-1%	0-1%	0-0,2%
Nitrógeno	0-1%	0-1%	0-3%	0-1%	2-5%
Oxígeno	0-1%	0-1%	0-1%	0-1%	0,1-1%
Constituyentes en cantidades trazas	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas

Fuente: Castells, (2005).

El biogás cuenta principalmente con las siguientes características:

- Es el conjunto de gases producido por una fuente natural.
- Se produce mediante un proceso metabólico de descomposición de la materia orgánica.
- Es un proceso anaeróbico (sin presencia de oxígeno).
- Intervienen una población heterogénea de microorganismos.
- Está compuesto por metano y dióxido de carbono, mezclado en menor proporción con distintas gases (EVE, 2001).

Uno de los grandes enfoques a nivel mundial para la producción de energía es el uso del biogás, el cual es obtenido a partir de diversos tipos de biomásas procedentes de actividades humanas, como son los residuos orgánicos urbanos y los residuos agropecuarios, con que cuentan en su totalidad la mayoría de los países y en amplia disponibilidad (Sierra, 2014). Arias (2011) señala que las mezclas de biogás con aire, en una relación de 1:20, crean un gas altamente explosivo, lo que permite su función como combustible en motores de combustión interna adaptados. Por otro lado Vinasco (2009), establece que el biogás obtenido en los digestores contiene de 60 a 80% de Metano y su poder calorífico es de aproximadamente 6 KWh/m³ (800 BTU/pie³), lo que permite emplearlo para equipos o sistemas que funcionen a base de energía.

A continuación, se describen los principales usos del biogás, de acuerdo al criterio de varios autores:

a) En motores estacionarios de combustión Interna

El alto costo de los combustibles derivados del petróleo, le da lugar al biogás como alternativa para la generación de combustión. En fincas ganaderas es común el uso de bombas de agua, plantas de energía eléctrica, que funcionan con diesel o gasolina; en cuyos sistemas es posible reemplazar el combustible tradicional por el biogás (ICAITI, 2006).

b) Para uso vehicular

El uso vehicular del biogás se ha empleado años atrás. Sin embargo, su uso está delimitado por ciertos aspectos: El Biogás por su volumen debe ser almacenado en contenedores de alta presión, por tal razón debe ser purificado antes de su compresión. Además, que los motores de conversión son caros y disminuyen la capacidad de carga de los vehículos (Narváez, 2007).

c) Como fuente de energía

El uso del biogás para generar energía, le confiere un valor agregado al biodigestor en las unidades agropecuarias, no solo al producir de manera sostenible, efectos económicos positivos para el productor, sino también como eje integrador de los ciclos productivos con la energía, ya sea como fuente de calor o combustible (Díaz, 2004).

d) Para uso de cocina

En países como la India, existen muchas pequeñas instalaciones de biogás para cocinar. Es importante que la instalación esté en el exterior o si no en un sitio con ventanas o puertas siempre abiertas. Cabe mencionar que su rendimiento es bueno, ya que un litro de agua hierve rápidamente (entre 8-12 minutos) (Orozco, 2005).

Entre las principales ventajas del biogás se encuentran:

- Ventajas energéticas: Es una fuente de energía renovable, de uso eficiente y de generación distribuida en el desarrollo rural. Además, su proceso transcurre sin interrupción las 24 horas del día.
- Ventajas ambientales: Es una fuente limpia de energía, porque con el uso de biogás se ahorra combustible fósil, permite la descontaminación de residuos y la reducción de contaminantes del suelo, aire y agua (Schriewer Biogas Consulting, 2015).
- Ventajas agrícolas: Es un fertilizante natural, genera un efluente rico en nutrientes como el nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio (Marti, 2011).

- Ventajas sociales: Es un autoabastible de energía, ideal para el desarrollo de proyectos energéticos de comunas rurales aisladas de los servicios de distribución eléctrica convencional (Giorda, 2007).

PROBIOGÁS (2007), clasifica los distintos sustratos o subproductos residuales, utilizados como materia prima en la producción de biogás, desde un punto de vista general hacia algo más específico. Lo resume de la siguiente manera:

Cuadro 2. 3. Tipificación de materias primas.

TIPO	CATEGORÍA	
Ganaderos (G)	G1	Purín de cerdo
	G2	Estiércol de vaca
	G3	Gallinaza
	G4	Restos de otras especies
Alimentarios de origen animal (An)	An1	Subproductos cárnicos
	An2	Subproductos lácteos
	An3	Subproductos de pescado
Alimentario de origen vegetal (Ve)	Ve1	Subproductos hortofrutícolas excedentes
	Ve2	Subproductos hortofrutícolas no conformes
	Ve3	Subproductos de transformación de productos hortofrutícolas
	Ve4	Otros
	Ve5	Lodos de aguas residuales
Cultivos energéticos (Ce)	Ce1	Cultivos energéticos
Subproductos de industrias bioenergéticas (Ibi)	Ibi1	Glicerina
	Ibi2	R. bioetanol

Fuente: PSE PROBIOGÁS, 2007

2.2. ESTUDIOS REFERENTES AL USO DE GALLINAZA PARA LA GENERACIÓN DE BIOGÁS

Una serie de diseños experimentales en condiciones mesofílicas fueron realizados en biodigestores con agitación, alimentados con diferentes mezclas de gallinaza y gallinaza diluidos preparados a partir de sustratos producidos por DISTRAVES. Se desarrollaron cinco diseños experimentales donde se evaluó:

1. El tiempo necesario para producir 250 ml de biogás;
2. El porcentaje de inóculo para producir el biogás;
3. La producción de biogás en 12 horas con un inóculo al 10%;
4. El volumen de biogás producido en 192 horas y el efecto de

la mezcla 90/10 gallinaza – pollinaza; 5. La significancia del tamaño de grano del substrato en la producción de biogás. Se realizó una caracterización fisicoquímica de la gallinaza y pollinaza. Se evaluó la producción de biogás bajo distintas condiciones. Los inóculos se prepararon partiendo de aguas residuales de la PTAR. Se evaluaron los parámetros DBO, DQO y microbiológicos para entrada y salida de descarga. El sistema de digestión anaerobia tipo batch utilizado en este proyecto permitió la evaluación de la producción de biogás a partir de gallinaza. El tiempo necesario para la producción de 205 ml fue de 10 min para gallinaza y de 20 min para la mezcla pollinaza-gallinaza. Se encontró que el porcentaje óptimo del inóculo era alrededor del 10 %. Los biodigestores no se estabilizaron en un rango de tiempo de 12 horas. La mezcla 90/10 mejoro la producción de biogás en un 55 % en comparación con el producido por la mezcla gallinaza agua residual. El efecto de la molienda para todos los bioreactores tuvo un efecto superior al 100 %. En el caso de la mezcla 90/10 se incrementó en un 235%. Lo cual podría implicar que la gallinaza sirve de alimento para iniciar el proceso. El tamaño de partícula se determinó con base en un parámetro suministrado por DISTRAVES.

Belmuda (2015), realizó un estudio que consistió en diseñar biodigestores herméticamente cerrados los cuales se depositan sólidos orgánicos biodegradables, estos residuos tienen un alto contenido de materia orgánica y se tratan para su descomposición bajo un proceso anaerobio, generando biogás. La investigación consistió en evaluar la utilización de desechos sólidos orgánicos, los cuales serán utilizados como fuente de carbono y la gallinaza como fuente de nitrógeno para el desarrollo de la digestión anaerobia en la obtención de biogás, el experimento tendrá dos factores; factor A = concentración de residuos (25/1 y 30/1) y factor B = concentración de gallinaza (5 % y 7%). Se evaluaron 4 tratamientos, resultado de la combinación de los dos factores en estudio, factor A (concentración de residuos orgánicos) x factor B (concentración de gallinaza). La gallinaza se sometió a una caracterización física-química realizada en el laboratorio NEMALAB S.A. Los resultados arrojados por dicha caracterización permiten identificar un contenido

equivalente al 41,26 % de Materia Orgánica fácilmente Biodegradable, un pH de 9,2, conductividad eléctrica de 15,53 dS/m, y humedad de 29,40 %. El Nitrógeno con un valor de 1,04 %, 3,18 % para Fósforo, 3,61 % para Potasio, 2,05 % para Calcio y 1 % para Magnesio.

2.3. USO DE GALLINAZA PARA LA GENERACIÓN DE BIOGÁS

Los residuos avícolas son aquellos generados en granjas y en el procesado de las aves de corral, entre los cuales se encuentran la gallinaza, plumas, vísceras, órganos, aguas residuales y biosólidos. La mayoría de estos subproductos pueden proveer una serie de nutrientes de gran valor si se les brinda una gestión adecuada (Williams, 2009).

La gestión de estos subproductos avícolas como posibles contaminantes se centra en los problemas de calidad del agua y el aire, y en algunos casos de calidad del suelo (Nahm, 2004).

La producción avícola contribuye al desarrollo agrícola, mediante el procesamiento de la gallinaza, transformándola así en un recurso de gran valor (Osorio, 2005). La gallinaza posee un alto contenido de humedad y altos niveles de nitrógeno, que se volatilizan velozmente, creando fuertes y malos olores, perdiendo calidad como fertilizante (Tobar, 2002).

Regau (1994), considera importante la transformación de la gallinaza por medio de distintos tratamientos, ya que ésta posee un gran valor orgánico que le permite ser utilizada para diferentes fines.

Por su parte Rodríguez (2008), señala que la gallinaza se utiliza generalmente como abono, y que su composición depende principalmente de la dieta y del método de alojamiento de las aves.

Mack (1993), manifiesta que la mayoría de las granjas avícolas tienen problemas de contaminación, debido a los residuos generados en éstas. Para

un mejor estudio, Bell (1993), clasifica en tres grandes grupos los problemas ambientales provenientes de la producción avícola:

Cuadro 2. 4. Efectos de deyecciones avícolas.

AGUA	<ul style="list-style-type: none"> • Polución, Lixiviación • Patógenos fecales, Eutrofización
SUELO	<ul style="list-style-type: none"> • Patógenos, Variación de pH • Metales pesados, Salinidad • Retención de agua, Exceso de NO₂ Y NO₃
ATMÓSFERA	<ul style="list-style-type: none"> • Desnitrificación, Malos olores • Gases asfixiantes e irritantes • Aerosoles

Fuente: Bell, 1993.

Figuroa (2009), explica que el impacto ambiental de un gran volumen de desechos es altamente significativo. Por lo tanto, se requiere la implementación de estrategias de manejo de residuos avícolas, que ayuden a la reducción de los desperdicios, ya sea por medio del uso directo en la alimentación animal o mediante procesos para la recuperación y producción de energía y fertilizantes. La calidad de la gallinaza depende de ciertas características, entre las más significativas tenemos: el tipo de alimento, la edad del ave, la cantidad de alimento desperdiciado, la cantidad de plumas, la temperatura ambiente y la ventilación del galpón. Otro factor a tomar en cuenta en su calidad es el tiempo que la gallinaza permanece en el galpón (Estrada, 2005).

Lozada (2013), establece que la gallinaza procedente de ponedoras en jaulas es de mayor de calidad con relación a la gallinaza generada por las ponedoras en piso o planteles de cría o levante. Además se promedia que un ave en postura genera 35.8 a 40.8 15 gr. de heces por día, cuyas excretas poseen un alto contenido de agua (75%), esta cantidad es relevante con referencia a granjas comerciales en jaulas.

Lo más lógico sería expresar la producción de gallinaza de las ponedoras en materia seca y en relación al consumo de alimento. A continuación, se presenta una tabla con la producción de excreta de gallina.

Cuadro 2. 5. Estimación de la producción de gallinaza.

TIPO DE GALLINA	CONSUMO DE ALIMENTO GR/AVE/DÍA	DISPONIBILIDAD DE ALIMENTO	MATERIA SECA DEYECCIONES GR/AVE/DÍA
Liviana	100-110	75-80	20-27
Semi-pesada	110-120	75-80	22-30

Fuente: Selecciones avícolas, 2000

Castillo (2006), muestra el valor nutritivo de la gallinaza en el siguiente cuadro:

Cuadro 2. 6. Valor nutricional de la gallinaza.

NUTRIENTES %	GALLINAZA	
	Media	Error estándar de la media
Proteína cruda	15,58	1,16
Fibra cruda	9,56	0,52
Ceniza	37,73	2,95
Fósforo	1,51	0,14
Calcio	7,94	0,68
Energía Digestible	2,24	0,12

Fuente: Castillo, 2006

Mullo (2012) indica que si se va a utilizar la gallinaza como alimento para ganado o fertilizante, debe tenerse presente que la composición de la misma cambia al momento de la recolección y al tipo de almacenamiento. Como se presenta en el siguiente cuadro:

Cuadro 2. 7. Valor como abono de la gallinaza.

TIPO	HUMEDAD %	NITRÓGENO %	ÁCIDO FOSFÓRICO	POTASIO %
Fresca	70-80	1,1-1,6	0,9-1,4	0,4-0,6
Acumulado unos meses	50-60	1,4-2,1	1,1-1,7	0,7-1
Acumulado en fase profundo	12-25	2,5-3,5	2,0-3,30	1,4-2
Desecada Industrialmente	7-15	3,6-5,5	3,1-4,5	1,5-2,4

Fuente: Mullo, (2012)

La gallinaza contiene todos los nutrientes básicos necesarios para el desarrollo de los vegetales, entre los cuales se encuentran: Carbono, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Azufre, Calcio, Magnesio, Boro, Cobre, Hierro, Manganeso, Molibdeno y Zinc (Henuk, 2003). Adicionalmente, TECNAMED (2011), propone la siguiente composición química y física de la gallinaza:

Cuadro 2. 8. Composición química y física de la gallinaza.

Materia seca	83,10 %
Ph	7,90
Materia orgánica	58,00 %
Nitrógeno	4,00 %
Fósforo	2,60 %
Potasio	2,30 %
Magnesio	0,80 %
Calcio	c9,50 %
Manganeso	297,50 mg/kg
Cobre	37,40 mg/kg
Zinc	531,80 mg/kg
Relación	C/N 7,26
Conductividad	4,57 dS/m
Hierro	506,10 mg/kg
Densidad	500 kg/m ³ C

Fuente: TECNAMED, 2011

El contenido de nutrimentos de la gallinaza varía dependiendo de la edad, tipo y condición de las aves. La gallinaza contiene alrededor de 3% de nitrógeno, 2% de fósforo y 2% de potasio (Muñoz, 1992). En el siguiente cuadro se detallan los nutrientes que se hallan en la gallinaza según Montalvo (2008):

Cuadro 2. 9. Composición química de la gallinaza.

COMPOSICIÓN	GALLINAZA
Macro nutrientes (%):	
Nitrógeno (N)	4,3
Fósforo (P)	2,85
Potasio (K)	1,53
Calcio (Ca)	7,53
Magnesio (Mg)	1,19
Sodio (Na)	0,18
Micro nutrientes (ppm):	
Boro (Bo)	29
Cobalto (Co)	67
Manganeso (Mn)	1736
Zinc (Zn)	1151

Fuente: Montalvo, 2008

La gallinaza generalmente es utilizada como fuente proteica, en combinación con otros alimentos y forrajes, deficientes en proteína, como las hojarasca y pajas, el nopal y la melaza. La contaminación que genera la gallinaza junto a estos componentes es muy común y en ocasiones se complementan (Ochoa, 2007). Debido a su alto contenido en minerales, la gallinaza también puede ser utilizada como suplemento mineral y suplemento animal, en pastoreos o dietas integrales o concentradas (Urrutia, 2007).

La gallinaza es empleada como abono orgánico, debido a que contiene todos los nutrientes básicos indispensables para las plantas. Cabe mencionar que su principal aporte es mejorar las características de la fertilidad del suelo, debido su elevado contenido de fósforo, potasio, calcio, hierro, magnesio, manganeso, zinc, cobre y boro, pero el que mayor concentración presenta es el nitrógeno (Cantarero, 2002).

Según (COFECYT, 2013.), una alternativa para el uso de la gallinaza, aunque todavía poco explotada es la producción de energía. La gallinaza, como cualquier otro desecho orgánico, puede ser tratada mediante biodigestores, los cuales permiten acelerar el proceso de descomposición transformando sus elementos en biogás. Excelente opción para la sustitución de combustibles fósiles por alternativas limpias.

2.4. RESIDUOS AGRÍCOLAS

La actividad agrícola genera una cantidad importante de residuos orgánicos, que, de no ser tratados adecuadamente puede traer impactos ambientales negativos, tales como la atracción de plagas, la potencial contaminación de fuentes hídricas, olores desagradables y ocupación de espacios cultivables importantes (Pérez, 2012). En la investigación planteada se utilizarán dos variaciones de residuos agrícolas (cáscara de cacao y plátano) que permitirán mejorar el proceso de digestión anaerobia en los biodigestores.

La cáscara del cacao (*Theobroma cacao*), posee una enorme cantidad de biomasa y energía potencialmente aprovechable para producir biogás combustible, cuyo proceso se da mediante el tratamiento con biodigestores. Esta alternativa permitirá darle un manejo adecuado a los residuos orgánicos que la actividad cacaotera produce (Tavera, 2015).

Sandos (2003), establece que la cáscara de cacao nutricionalmente aporta como todo alimento macronutrientes (proteínas, carbohidratos, lípidos) y micronutrientes (vitaminas y minerales). Además, la cáscara del cacao es rica en su contenido de calcio, fósforo, cobalto y cobre, que son normalmente deficientes en los rumiantes de pasto en los trópicos.

Por otro lado se encuentra el plátano (*musa paradisiaca*), considerándose también una excelente fuente de nutrientes como potasio, vitaminas y almidón, es uno de los cultivos más comunes en todos los países con clima tropical; sin embargo la pulpa del plátano es lo único consumido por el ser humano; lo cual genera grandes cantidades de desperdicios orgánicos provenientes de este, lo que contribuye a generar problemas ambientales y microbiológicos debidos a la cantidad de humedad y nutrientes presentes en las mismas (Blasco, 2014). El uso principal de sus residuos es para la producción de biogás, el cual está relacionado directamente por su rápida descomposición en campo sin ningún tratamiento, además de contener el mayor potencial energético con relación a otros residuos (Núñez, 2012).

2.5. BIODIGESTORES EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Los biodigestores conocidos también como plantas productoras de biogás, son espacios o tanques sellados donde la materia orgánica y el agua residual permanecen un ciclo de tiempo para lograr su descomposición obteniendo como producto final el biogás y bioabono (Arboleda, 2009).

Carrillo, (2003) establece un digestor de desechos orgánicos es un contenedor, dentro del cual se deposita el material orgánico (excrementos) este puede ser de animales y humanos, desechos vegetales, etcétera, en determinada dilución

de agua mediante la fermentación anaerobia se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, y además, se disminuya el potencial contaminante de los excrementos.

Por otra parte Rodríguez, (2012) indica que el biodigestor es una estructura donde también se produce fertilizante líquido obtenido de la etapa final del proceso. Este gas tiene varias aplicaciones como cocinar, calentar agua, iluminar, calentar cerditos pequeños o aves por medio de un calentador, además de generar electricidad.

Al momento de diseñar un biodigestor, es necesario que la estructura reúna las siguientes características:

- Hermético, para impedir salidas del biogás o entradas de aire.
- Térmicamente aislado, para evitar cambios bruscos de temperatura.
- El contenedor primario de gas deberá contar con una válvula de seguridad.
- Deberán tener acceso para mantenimiento.
- Deberá contar con un medio para romper las natas que se forman (CEDECAP, 2007).

Según su régimen de carga los biodigestores se clasifican en:

Biodigestor Batch o discontinuo.- Este tipo de sistema se carga una sola vez en forma total y la descarga se realiza una vez que el biodigestor haya culminado el proceso anaerobio. Su estructura posee tanques herméticos con una salida conectada a un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás. Este biodigestor requiere de una batería cargada a diferentes tiempos para que la producción de biogás sea constante (Tamayo, 2009).

Digestores de régimen semicontinuo.- Se construyen enterrados, se cargan por gravedad una vez al día, en la parte superior flota una campana donde se almacena el gas (Soria, 2001).

Digestores de régimen continuo.- Según Tamayo, (2009) los sistemas de régimen continuo se utilizan para plantas de producción de biogás con el objetivo de generar energía eléctrica. Debido a que su magnitud, nivel de tecnología, industrialización e instrumentación son altos.

Digestores de alta velocidad o flujo inducido.- Utilizados comúnmente en instalaciones industriales o semi-industriales. Generalmente trabajan a presión constante y se diferencian de los digestores convencionales por su agitación mecánica, que permite al material no digerido, entre en contacto con las bacterias activas y por lo tanto la velocidad de digestión (Bautista, 2010).

Según su método de construcción y dirección de flujo se clasifican en:

Biodigestor tipo salchicha.- Es la planta de biogás más sencilla y económica que se implementa en la actualidad. Para su elaboración se utiliza una manga de plástico en polietileno, o PVC, porque es ligera de transportar, es fácil de instalar, se calienta fácilmente cuando recibe el calor del sol o de un fitotoldo. Se pueden emplear otros materiales como cemento, ladrillos, metales (Fuentes, 2012).

Biodigestor tipo Chino (domo fijo).- Es un digestor semicontinuo, de campana fija, construida de diversos materiales donde el biogás es recolectado en un recipiente fijo. Su característica principal es que trabaja a presión variable. En el área de la campana se almacena el gas generado por la degradación (Ramírez, 2012).

Biodigestor tipo Hindú (domo móvil).- Es un digestor de campana flotante, usado en zonas rurales, se lo carga por gravedad una vez al día, en este digestor el volumen de carga depende del tiempo de retención, el mismo que produce una cantidad de gas de manera constante siendo esta su principal característica (Fuentes, 2012).

2.6. RENTABILIDAD EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

La generación y uso del biogás como fuente de energía renovable, es una opción con garantía de rentabilidad, ya que no solo resuelve un problema ambiental reutilizando desperdicios, sino que también permite obtener un importante ahorro económico al volverse autosustentable como energía eléctrica. Además, el proceso facilita un lodo estabilizado que puede ser usado como biofertilizante de excelente calidad y de más rápida producción, contribuyendo así a la conservación y el sostenimiento de la fertilidad del suelo (Twenergy, 2014).

Kolmsee (2011), indica que la rentabilidad de una planta de biogás está definida por dos factores: los costos de oportunidad de deshacerse del estiércol y el rendimiento de biogás del estiércol de la planta junto con el uso del fertilizante orgánico. Cabe mencionar que estos factores puedan variar de granja a granja.

Adicionalmente expresa que el rendimiento del biogás depende de la dieta y del tipo de galpón de los animales. En granjas de ponedoras automatizadas el material puede ser usado casi fresco y no hay pérdidas en su valor energético. En granjas de engorde con la cama de pollo siendo retirado una vez al medio año, el valor energético es más bajo.

Algunas de las razones que hacen rentable la producción de biogás se citan a continuación: permite realizar una adecuada gestión y tratamiento de residuos industriales y agropecuarios; brinda respuesta a las demandas energéticas; ofrece solución a las molestias de convivencia entre ganaderos, agricultores y sociedad; y logra una mayor rentabilidad económica con su producción (TECNORED, 2014).

Por su parte Alsativa (2015), expresa que invertir en la producción de biogás es una actividad altamente rentable, debido a que su coste de instalación por MW es sustancialmente inferior al de otras energías renovables. Además la producción en horas/año es muy superior, puesto que no dependen de

condiciones atmosféricas, y puede estar produciendo 24 horas al día durante los 365 días al año.

2.7. RELACIÓN ENTRE PRESIÓN Y VOLUMEN

En 1643, el científico italiano Evangelista Torricelli (1608-1674), al trabajar con un dispositivo de su invención, posteriormente llamado barómetro, demostró que una columna de gas podía ejercer presión y que ésta podía medirse. Este trabajo atrajo la atención del químico inglés Robert Boyle (1627-1691) y lo motivó a realizar estudios precisos sobre los cambios de volumen de muestras gaseosas causados por variaciones de presión. En 1662 reportó los resultados de sus experimentos llegando a la conclusión de que “el volumen de una cantidad fija de un gas a temperatura constante, es inversamente proporcional a la presión del gas”.

Esta expresión implica que siempre que se tenga una cantidad fija de un gas a temperatura constante, el producto de la presión por el volumen siempre será igual a una constante k (Boyle, 1662).

Por otro lado, Giancoli (2002), expresa que la Ley de Boyle-Mariotte indica que cuando crece la presión sobre una cantidad determinada de un gas, el volumen del gas disminuye: “cuanto mayor es la presión menor se hace el volumen”. Los efectos de la presión sobre el volumen de aire tienen una relación inversamente proporcional, lo que significa que al hacer el volumen el doble, la presión se hace la mitad, si la presión se multiplica por cuatro el volumen se reduce a la cuarta parte de su valor original, etc. Esta relación ha resultado ser válida para cualquier tipo de gas.

2.8. TEMPERATURA

La temperatura de un cuerpo es una medida de su estado relativo de calentamiento o enfriamiento, cuando tocamos un cuerpo, nuestro sentido del

tacto nos permite hacer una estimación del grado de calentamiento o enfriamiento del cuerpo con respecto a la parte de nuestra piel que está en contacto con dicho cuerpo. Esta estimación del tacto es demasiado limitada e imprecisa para ser de algún valor en los trabajos técnicos y científicos (Peña, 2007).

Morán, (1993), establece que la temperatura es una propiedad esencial en Termodinámica. Su determinación cuantitativa (medida) se realiza con instrumentos llamados termómetros. La Ley Cero de la Termodinámica postula que es posible medir la temperatura, es decir, que la temperatura es una propiedad. La temperatura es aquel factor que determina la capacidad de un sistema para intercambiar calor. Su unidad es el kelvin (K).

Para cuantificar el valor de la temperatura empírica es necesario establecer una escala de temperaturas. La escala Celsius emplea dos puntos fijos (los puntos de fusión y de ebullición del agua pura, a 1 atm de presión), a los que da arbitrariamente los valores numéricos de 0 y 100 °C. Sin embargo, es conocido que cualquier magnitud física debe requerir de un solo punto fijo para su definición. Esto se consigue con el termómetro de gas a presión constante o a volumen constante (Shavit *et. al.*, 1995).

El termómetro se introduce en un sistema cuya temperatura se desea medir. En el termómetro de gas a presión constante la propiedad termométrica es el volumen ocupado por el gas, manteniendo constante la presión de dicho gas. Gay-Lussac realizó medidas del volumen ocupado por el gas cuando el sistema analizado era hielo fundente ($t = 0$ °C), y cuando el sistema era agua hirviendo ($t = 100$ °C). Comprobó que, con independencia de la cantidad de gas introducida, la relación entre ambos volúmenes variaba poco según qué gas introdujera en el termómetro (Segura, 1998).

Wark (1991) señala que el termómetro es válido solamente para gases a muy bajas presiones; sólo entonces, el termómetro resulta ser independiente del gas contenido en el sistema, y por tanto válido para establecer una escala universal (empírica) de temperaturas.

Con respecto a la producción de biogás la temperatura debe estar relacionada con el tiempo en que tarde en descomponerse la biomasa dentro de los digestores (Hilbert, 2003). A medida que la temperatura incrementa, los tiempos de retención reducen, por tal motivo se necesitará emplear un biodigestor de menos volumen para digerir una misma cantidad de biomasa, y si la temperatura es menor, se requiere un mayor tiempo de retención que será necesario para que las bacterias, que tengan menor actividad, sean capaces de producir biogás (Martí, 2008).

Según Poggio, (2006) la producción específica de metano depende directamente de la temperatura y aunque no existe un modelo para predecir la producción de metano en función de esta, se considera que la producción de biogás se duplica por cada 10°C que aumente la temperatura.

2.9. DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR (DCA)

Un diseño experimental es una representación de cómo llevar a cabo un experimento. La finalidad de los diseños experimentales reside en determinar si existe una diferencia significativa entre los diferentes tratamientos del experimento y en caso que la respuesta es afirmativa, cuál sería la magnitud de esta diferencia (Castillo, 2007).

El diseño completamente al azar (DCA), es el más sencillo y eficaz; además se da por la asignación aleatoria de los tratamientos a un conjunto de unidades experimentales previamente establecidas (Rodríguez, 2007).

Este diseño posee una amplia aplicación cuando las unidades experimentales son muy homogéneas, es decir, la mayoría de los factores funcionan por igual entre las unidades experimentales. Esta situación se muestra en los experimentos de laboratorio donde casi todos los factores están controlados (Villalpando, 2008).

Así mismo, el autor indica que la homogeneidad de las unidades experimentales puede alcanzarse ejerciendo un control local apropiado. Pero debe tenerse en cuenta que todo material biológico, por homogéneo que sea, presenta una cierta fluctuación cuyos factores no se conocen y son, por lo tanto, incontrolables.

Por su parte, Wong (2008), señala que el diseño completamente al azar es una prueba basada en el análisis de varianza, en donde la varianza total se descompone en la “varianza de los tratamientos” y la “varianza del error”.

El objetivo es determinar si existe una diferencia significativa entre los tratamientos, para lo cual se compara la “varianza del tratamiento” contra la “varianza del error” y se determina si la primera es lo suficientemente alta según la distribución F.

2.10. ANÁLISIS DE VARIANZA

El análisis de la varianza (ANOVA) es una potente herramienta estadística, de gran utilidad tanto en la industria, para el control de procesos, como en el laboratorio de análisis, para el control de métodos analíticos. Los ejemplos de aplicación son múltiples, pudiéndose agrupar, según el objetivo que persiguen, en dos principalmente: la comparación de múltiples columnas de datos y la estimación de los componentes de variación de un proceso (Boqué y Maroto, 2009).

Por otra parte, Ordaz (2008) expresa que los modelos de ANOVA son técnicas de Análisis Multivariante de dependencia, que se utilizan para analizar datos procedentes de diseños con una o más variables independientes cualitativas (medidas en escalas nominales u ordinales) y una variable dependiente cuantitativa (medida con una escala de intervalo o de razón). En este contexto, las variables independientes se suelen denominar factores (y sus diferentes estados posibles o valores son niveles o tratamientos) y la variable dependiente se conoce como respuesta.

Además, Bakieva y Gonzales (2010) indican que el análisis de varianza (ANOVA) de un factor nos sirve para comparar varios grupos en una variable cuantitativa. Esta prueba es una generalización del contraste de igualdad de medias para dos muestras independientes. Se aplica para contrastar la igualdad de medias de tres o más poblaciones independientes y con distribución normal.

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

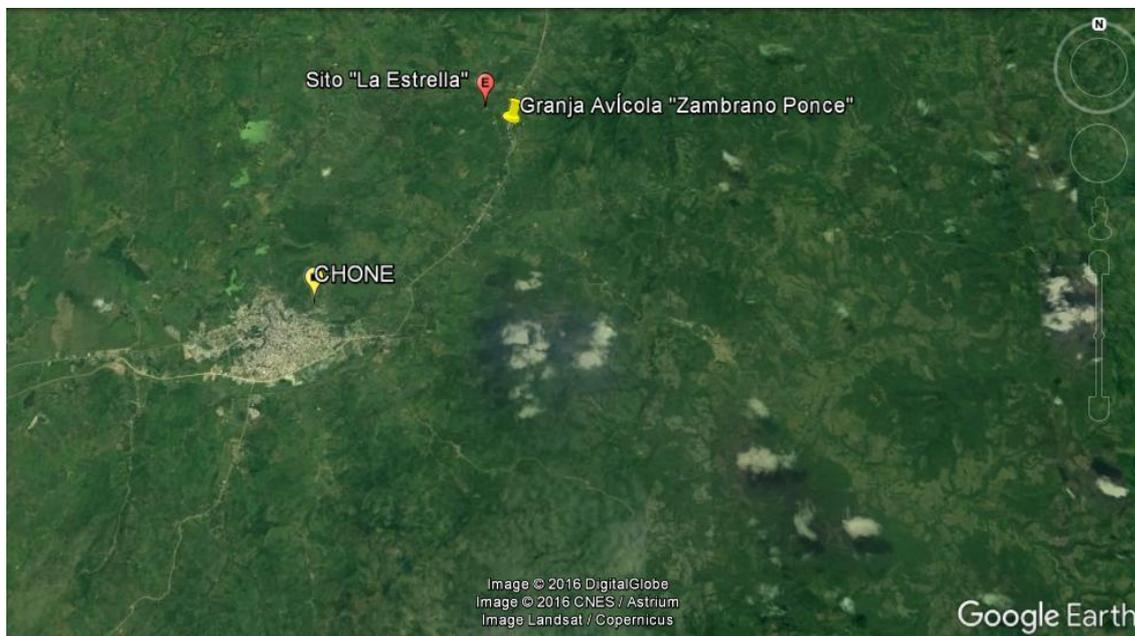
El proyecto de tesis se lo realizó en la granja avícola “Zambrano Ponce”, ubicada en el sitio “La Estrella” del cantón Chone, el cual cuenta con las siguientes características:

Cuadro 3. 1. Características del cantón Chone.

CARACTERÍSTICAS	CHONE
Extensión territorial	3570.6 km ²
Coordenadas geográficas	0°41'00"S 80°06'00"O
Altitud	Máxima 560 m s. n. m. Mínima ~5 m s. n. m.
Temperatura promedio anual (°C)	26°C
Superficie del área de estudio	20000m ² = 2ha

Fuente: AME (Asociación de Municipalidades Ecuatorianas), 2010

Imagen 3. 1. Ubicación granja avícola "Zambrano Ponce".



Fuente: Google Earth, 2014

3.2. DURACIÓN DEL TRABAJO

La presente investigación tuvo una duración aproximada de 6 meses desde octubre del 2016.

3.3. FACTOR EN ESTUDIO

Factor: Relación gallinaza y agua.

Niveles: Gallinaza, residuos y agua.

Cuadro 3. 2. Combinaciones de los niveles.

NIVEL	MASA DE GALLINAZA	MASA DE RESIDUOS AGRÍCOLAS	MASA DE AGUA	RELACIÓN GALLINAZA-AGUA
T ₁	10 Kg	6 Kg	20 kg	1:2
T ₂	20 Kg	6 Kg	30 kg	1:1.50
T ₃	30 Kg	6 Kg	40 kg	1:1.33

3.4. TRATAMIENTOS

Se realizaron tres tratamientos con tres repeticiones cada uno. Teniendo un total de 9 unidades experimentales.

Cuadro 3. 3. Tratamientos.

Nº TRATAMIENTO	FACTOR R
1	R ₁
2	R ₂
3	R ₃

3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

Cuadro 3. 4. Diseño experimental.

DISEÑO EXPERIMENTAL	Completamente al azar (DCA)
NÚMERO DE TRATAMIENTOS	3
NÚMERO DE REPETICIONES	3
NIVELES	Masa de gallinaza 10 Kg 20 Kg 30 Kg

3.6. UNIDAD EXPERIMENTAL

Cuadro 3. 5. Descripción de las unidades experimentales.

UNIDADES EXPERIMENTALES NOMENCLATURA	COMBINACIONES		
	MASA DE GALLINAZA (Kg)	MASA DE RESIDUOS AGRÍCOLAS (Kg)	MASA DE AGUA (Kg)
T ₁ R ₁	10	6	20
T ₁ R ₂	10	6	20
T ₁ R ₃	10	6	20
T ₂ R ₁	20	6	30
T ₂ R ₂	20	6	30
T ₂ R ₃	20	6	30
T ₃ R ₁	30	6	40
T ₃ R ₂	30	6	40
T ₃ R ₃	30	6	40

3.7. VARIABLES A MEDIR

3.7.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Producción de biogás

3.7.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Relación gallinaza-agua

3.8. PARÁMETROS A MONITOREAR

Cuadro 3. 6. Parámetros a monitorear.

PARÁMETROS	UNIDADES
Presión	PSI
Temperatura	°C

3.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las variables identificadas fueron sometidas al respectivo análisis de varianza (ANOVA).

3.9.1. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Cuadro 3. 7. Análisis de Varianza.

Fuente de variación	Grados de libertad
Total	9
Tratamientos	3
Error Experimental	6

3.10. OTROS ASPECTOS

A continuación se presentan los procedimientos que se llevaron a cabo en la investigación, con sus respectivas fases y actividades.

3.10.1. FASE 1. APLICACIÓN DE DIFERENTES RELACIONES DE GALLINAZA Y AGUA EN LOS BIODIGESTORES

Actividad 1.1. Instalación de los biodigestores

La investigación se basó en implementar 9 biodigestores en contenedores de polietileno de 0,60 m de diámetro y 0,62 m de altura, los cuales contaban con las condiciones óptimas para la producción de biogás. Se verificó que los contenedores no tuvieran ningún tipo de anomalía que pudiera provocar la fuga del gas, esto se lo realizó mediante una prueba de agua a cada uno de los recipientes. Para llevar a cabo la correcta instalación de los reactores, se desarrolló el siguiente procedimiento:

- a) Para la instalación de las válvulas de salida del gas, se realizó un orificio pequeño en el centro de las tapas de cada recipiente, con una medida aproximada de 4 cm de diámetro. Donde se ubicó un adaptador de 1/2" por cada biodigestor, cuyo sistema fue instalado por capas, e introducido en el dispositivo desde el interior del biodigestor, junto a una tapa plástica pequeña y un pedazo de caucho para ajustar con el adaptador y brindar un mejor sellado.

- b) Posteriormente se colocaron los tubos ($\frac{1}{2}$ ") de entrada y salida en los adaptadores, los cuales fueron recortados en pedazos de 20 centímetros; además se incorporó un tee de pvc de $\frac{1}{2}$ " por cada reactor, con el objetivo de anexar las llaves de salidas del biogás y los manómetros.
- c) Luego de realizada la instalación de tuberías, se colocó la mezcla dentro de los biodigestores; seguidamente se cubrió cada contenedor con plástico y encima de éste se ubicó la respectiva tapa, de manera que se obtuviera un mejor sellado a fin de evitar el ingreso de oxígeno o la fuga de gas.
- d) Finalmente se ubicaron los biodigestores por orden de tratamiento. Esta actividad se la llevó a cabo en un tiempo de dos semanas.

Actividad 1.2. Recolección de gallinaza y residuos agrícolas (tallo de plátano y cáscara de cacao)

Para la ejecución de esta actividad se inició con el aislamiento de los pollos, de manera que facilitaran el trabajo de recolección. Seguidamente se realizó la recogida de las excretas mediante recipientes plásticos, los cuales fueron adquiridos previamente. La gallinaza recolectada de los galpones fue trasladada a un lugar de almacenamiento hasta su posterior uso.

Por su parte, la recolección de los residuos agrícolas se la llevó a cabo con la colaboración de uno de los trabajadores de la granja. Así mismo, estos fueron almacenados en sacos hasta ser utilizados. Estas tareas se llevaron a efecto en el lapso de una semana.

Actividad 1.3. Preparación y ubicación de la mezcla en los biodigestores

Se llevó a cabo la preparación y ubicación de la mezcla en los biodigestores a diferentes concentraciones. Recordando que el 75% del volumen total corresponde a la fase líquida y el 25% restante a la fase gaseosa (Funk, 2007). Para lograr una mezcla correcta dentro de cada reactor, los componentes (excretas, residuos agrícolas y agua) utilizados fueron bien homogenizados,

para tal efecto fue necesario la trituración de los residuos agrícolas, ya que la descomposición de estos dependió en gran parte de su tamaño. El excremento, por su parte, no sufrió cambios y fue colocado en su forma natural.

Al momento de que la mezcla fue homogénea, se procedió a ubicarla en cada biodigestor, de acuerdo a las cantidades establecidas por cada tratamiento. Finalmente, se realizó el cierre de los biodigestores por completo sin dejar hendiduras, a fin de evitar el ingreso de oxígeno o la fuga de gas. Esta actividad tuvo un tiempo de duración de una semana.

3.10.2. FASE 2. MEDICIÓN DE LA CANTIDAD DE BIOGÁS EN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS

Actividad 2.1. Toma de temperatura

El monitoreo de la temperatura se efectuó mediante un termómetro láser infrarrojo, cuya tarea fue realizada diariamente a cada tratamiento junto con sus repeticiones. Luego de realizado el monitoreo, se registraba el valor obtenido de temperatura en una hoja de datos. Esta actividad se la desarrolló en un periodo de un mes.

Actividad 2.2. Toma de presión

La toma de presión se la controló por medio de dos llaves de paso, las cuales permitieron mantener un flujo constante y una presión interna adecuada en los reactores. El monitoreo de la presión se lo realizó mediante manómetros de 30 PSI que fueron colocados previamente en los biodigestores. Esta tarea se la efectuó diariamente durante un mes.

Actividad 2.3. Medición del volumen del gas producido

Con los datos obtenidos de presión y temperatura se calculó el volumen de biogás generado en los biodigestores, mediante la fórmula del gas ideal, cuyo

comportamiento de presión, volumen y temperatura se pueden describir completamente mediante la siguiente ecuación (Filippín *et al.* 1998):

$$PV = nRT \quad [3.1]$$

Dónde:

- R = Constante de proporcionalidad o constante de los gases
- V = Volumen
- P = Presión
- T = Temperatura
- n = Número de moles

3.10.3. FASE 3. DETERMINACIÓN DEL COSTO DE PRODUCCIÓN DEL BIOGÁS

Actividad 3.1. Utilización del método costo de producción

Se determinó el costo de producción del biogás; mediante el método denominado “Costo de Producción”. Para hacer uso del método antes mencionado, se consideraron los gastos obtenidos en la instalación de los biodigestores; además, el método involucró tres factores importantes de producción (Vinza, 2012):

- ✓ Materia prima
- ✓ Mano de obra directa
- ✓ Gasto de producción

$$CP = [(M_p + M_{od} + G_p)] \quad [3.2]$$

Dónde:

- CP = Costo de producción
- Mp = Materia prima

- Mod = Mano de obra directa
- GP = Gasto de producción

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. INSTALACIÓN DE LOS BIODIGESTORES

4.1.1. CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LOS BIODIGESTORES

En la investigación se implementaron 9 biodigestores en contenedores de polietileno, los cuales contaban con las condiciones óptimas para la producción de biogás.

Para la determinación del volumen de los reactores se tomaron medidas de la altura y el diámetro de los contenedores:

- Diámetro = 0,60 m
- Altura = 0,62 m

Y se aplicó la siguiente ecuación de volumen:

$$v = \frac{\pi * D^2}{4} * h \quad [4.1] \quad v = \frac{3,1416 * (0,60m)^2}{4} * 0,62 \text{ m} \quad v = 0,1753 \text{ m}^3$$

Con base en el resultado obtenido, se puede decir que los contenedores utilizados como biodigestores tienen una capacidad volumétrica de 0,1753 m³.

4.1.2. CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LOS RECIPIENTES PARA EL LLENADO DE LOS BIODIGESTORES

Para llevar a efecto la homogenización de la mezcla, se utilizaron recipientes pequeños, que además facilitaron el llenado de los biodigestores. Con los datos de altura y diámetro se obtuvo el volumen de dichos recipientes:

- Diámetro = 0,25 m
- Altura = 0,30 m

Y aplicando la ecuación:

$$v = \frac{\pi * D^2}{4} * h \quad [4.2] \quad v = \frac{3,1416 * (0,25m)^2}{4} * 0,30 \text{ m} \quad v = 0,0147 \text{ m}^3$$

Según los cálculos realizados, los recipientes para el llenado de los biodigestores tienen un volumen de 0,0147 m³.

4.1.3. ESTIÉRCOL DISPONIBLE EN LA GRANJA

Mediante visitas a la granja y la realización de una regla de tres simple, se logró determinar lo siguiente:

Cuadro 4. 1. Estiércol disponible.

NÚMERO DE POLLOS	CANTIDAD DE EXCRETAS DIARIOS (Lb)	CANTIDAD DE EXCRETAS DIARIOS (Kg)
1	0,121	0,055
3500	423,5	192,5

El cuadro 4.1 permite observar con claridad la cantidad de excretas diarias generadas por los 3500 pollos con los que cuenta la granja avícola “Zambrano Ponce”.

4.1.4. CARGA DE LA MEZCLA DE ENTRADA

En el siguiente cuadro se muestran las cantidades de sustrato y agua utilizados por cada tratamiento en la investigación.

Cuadro 4. 2. Carga de la mezcla de entrada.

TRATAMIENTOS	Gallinaza (Kg)	Residuos Agrícolas (Kg)	Agua (Kg)
1	10	6	20
2	20	6	30
3	30	6	40

4.2. MEDICIÓN DE LA CANTIDAD DE BIOGÁS EN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS

4.2.1. DATOS DE TEMPERATURA

En el siguiente cuadro se exponen los resultados obtenidos de la temperatura registrada por cada biodigestor durante 31 días.

Cuadro 4. 3. Valores de temperatura en grados Celsius.

DÍAS	TEMPERATURA °C								
	T ₁ R ₁	T ₁ R ₂	T ₁ R ₃	T ₂ R ₁	T ₂ R ₂	T ₂ R ₃	T ₃ R ₁	T ₃ R ₂	T ₃ R ₃
1	28,70	29,10	29,80	30,30	29,40	29,90	29,90	29,40	28,90
2	28,40	29,50	29,20	30,80	29,30	29,80	30,10	29,90	28,10
3	28,60	29,20	29,90	30,40	29,50	29,80	30,10	29,50	29,10
4	36,50	39,20	39,70	33,20	32,60	33,10	38,60	39,00	38,40
5	27,20	27,80	27,80	29,10	28,20	28,30	29,40	28,70	28,20
6	33,30	32,30	33,80	33,90	32,60	33,00	34,50	34,40	33,60
7	26,80	26,60	26,90	26,80	26,70	26,70	26,80	26,70	26,90
8	30,20	34,20	31,60	32,50	30,60	32,30	32,30	33,70	32,00
9	31,20	35,20	32,60	33,50	31,60	33,30	33,30	34,70	33,10
10	32,00	36,10	33,50	34,40	32,50	34,20	34,30	35,60	34,10
11	34,10	35,00	35,40	36,30	34,40	36,10	35,70	38,50	36,20
12	36,00	37,30	37,20	37,90	36,50	37,90	37,60	38,90	37,00
13	37,50	37,90	37,80	38,10	37,80	38,20	38,10	39,20	38,20
14	38,00	38,30	38,40	38,70	38,50	38,90	38,90	39,90	39,00
15	38,90	39,10	39,30	39,70	39,50	39,90	39,90	40,10	39,90
16	40,50	39,70	39,60	40,70	40,70	40,40	40,80	41,20	40,30
17	40,80	39,90	39,80	41,00	41,10	40,70	41,10	41,50	40,90
18	41,30	40,40	40,10	41,80	41,60	41,50	41,60	42,00	41,80
19	41,50	40,70	40,20	42,00	41,80	41,60	41,90	42,10	42,10
20	41,70	40,90	41,30	42,10	42,10	42,30	42,00	42,20	41,10
21	41,90	41,10	41,60	42,00	41,70	41,50	42,30	42,50	42,00
22	42,00	41,30	41,80	42,10	42,20	42,20	42,60	42,90	42,30
23	42,30	41,40	41,90	42,20	42,40	42,30	42,90	43,00	42,50
24	42,50	41,70	42,00	42,30	42,50	42,40	42,90	43,40	42,70
25	41,90	41,80	41,70	43,60	42,40	43,80	43,40	43,60	43,20
26	41,60	41,50	41,90	42,40	42,90	42,40	44,60	43,90	43,40
27	41,10	41,00	41,50	41,60	41,70	42,80	42,90	44,50	44,30
28	40,30	39,80	41,60	41,90	41,00	43,10	42,50	43,60	43,00
29	40,20	39,50	40,10	41,80	41,90	43,00	43,70	43,50	44,10
30	39,20	39,10	39,70	42,10	42,00	42,00	43,40	42,30	42,30
31	39,50	38,80	39,60	42,10	42,40	42,20	42,50	42,10	42,00

T₁R₁.- El tratamiento 1 repetición 1, inició su temperatura con un valor de 28,70°C. La temperatura presentó variaciones moderadas; siendo así, que en el día 7 obtuvo un valor mínimo de 26,80°C y en el día 24 alcanzó un máximo de 42,50°C. A partir del día 25 la temperatura fue descendiendo progresivamente hasta llegar a los 39,50°C en el día 31. **T₁R₂**.- El tratamiento 1 repetición 2, tuvo una temperatura inicial de 29,10°C. En el día 7 se presentó su temperatura más baja con un valor de 26,60°C; ascendiendo significativamente a 41,80°C en el día 25. Finalmente desciende a 38,80°C en el día 31. **T₁R₃**.- La temperatura inicial del tratamiento 1 repetición 3, fue de 29,80°C. Sufriendo variaciones que hicieron que descienda en el día 7 a

26,90°C. Alcanzando su temperatura máxima en el día 24 con un valor de 42,00°C. Finalmente desciende en el día 31 llegando a los 39,60°C.

T₂R₁.- El tratamiento 2 repetición 1, inició su temperatura con un valor de 30,30°C. La temperatura presentó variaciones moderadas; siendo así, que en el día 7 obtuvo un valor mínimo de 26,80°C y en el día 25 alcanzó un máximo de 43,60°C. A partir del día 26 la temperatura fue descendiendo progresivamente hasta llegar a los 42,10°C en el día 31. **T₂R₂**.- El tratamiento 2 repetición 2, tuvo una temperatura inicial de 29,40°C. En el día 7 se presentó su temperatura más baja con un valor de 26,70°C; ascendiendo significativamente a 42,90°C en el día 26. Finalmente desciende a 42,40°C en el día 31. **T₂R₃**.- La temperatura inicial del tratamiento 2 repetición 3, fue de 29,90°C. Sufriendo variaciones que hicieron que descienda en el día 7 a 26,70°C. Alcanzando su temperatura máxima en el día 25 con un valor de 43,80°C. Finalmente desciende en el día 31 llegando a los 42,20°C.

T₃R₁.- El tratamiento 3 repetición 1, inició su temperatura con un valor de 29,90°C. La temperatura presentó variaciones moderadas; siendo así, que en el día 7 obtuvo un valor mínimo de 26,80°C y en el día 26 alcanzó un máximo de 44,60°C. A partir del día 27 la temperatura fue descendiendo progresivamente hasta llegar a los 42,50°C en el día 31. **T₃R₂**.- El tratamiento 3 repetición 2, tuvo una temperatura inicial de 29,40°C. En el día 7 se presentó su temperatura más baja con un valor de 26,70°C; ascendiendo significativamente a 44,50°C en el día 26. Finalmente desciende a 42,10°C en el día 31. **T₃R₃**.- La temperatura inicial del tratamiento 3 repetición 3, fue de 28,90°C. Sufriendo variaciones que hicieron que descienda en el día 7 a 26,90°C. Alcanzando su temperatura máxima en el día 27 con un valor de 44,30°C. Finalmente desciende en el día 31 llegando a los 42,00°C.

Las temperaturas registradas en casi todos los tratamientos, hacen válido el argumento de Alcaayaga *et al.*, (1999); quienes indican que para que exista una fermentación mesofílica dentro de los biodigestores, se deben tener temperaturas de 20 a 40°C en un tiempo aproximado de 30 a 40 días de retención. No obstante, existe una variación de 4°C en algunos de los datos

registrados; lo cual según el autor es aceptable y por tanto las temperaturas se siguen manteniendo en el rango antes descrito. Para poder emplear la fórmula universal de los gases ideales, se consideró necesario convertir los datos registrados de temperatura en °C a K, de manera que facilite la aplicación de la ecuación y se obtengan resultados de volúmenes más veraces.

Cuadro 4. 4. Valores de temperatura en grados Kelvin.

DÍAS	TEMPERATURA °K								
	T ₁ R ₁	T ₁ R ₂	T ₁ R ₃	T ₂ R ₁	T ₂ R ₂	T ₂ R ₃	T ₃ R ₁	T ₃ R ₂	T ₃ R ₃
1	301,85	302,25	302,95	303,45	302,55	303,05	303,05	302,55	302,05
2	301,55	302,65	302,35	303,95	302,45	302,45	303,25	303,05	301,25
3	301,75	302,35	303,05	303,55	302,65	302,95	303,25	302,65	302,25
4	309,65	312,35	312,85	306,35	305,75	306,25	311,75	312,15	311,55
5	300,35	300,95	300,95	302,25	301,35	301,45	302,55	301,85	301,35
6	306,45	305,45	306,95	307,05	305,75	306,15	307,65	307,55	306,75
7	299,95	299,75	300,05	299,95	299,85	299,85	299,95	299,85	300,05
8	303,35	307,35	304,75	305,65	303,75	305,45	305,45	306,85	305,15
9	304,35	308,35	305,75	306,65	304,75	306,45	306,45	307,85	306,25
10	305,15	309,25	306,65	307,55	305,65	307,35	307,45	308,75	307,25
11	307,25	308,15	308,55	309,45	307,55	309,25	308,85	311,65	309,35
12	309,15	310,45	310,35	311,05	309,65	311,05	310,75	312,05	310,15
13	310,65	311,05	310,95	311,25	310,95	311,35	311,25	312,35	311,35
14	311,15	311,45	311,55	311,85	311,65	312,05	312,05	313,05	312,15
15	312,05	312,25	312,45	312,85	312,65	313,05	313,05	313,25	313,05
16	313,65	312,85	312,75	313,85	313,85	313,55	313,95	314,35	313,45
17	313,95	313,05	312,95	314,15	314,25	313,85	314,25	314,65	314,05
18	314,45	313,55	313,25	314,95	314,75	314,65	314,75	315,15	314,95
19	314,65	313,85	313,35	315,15	314,95	314,75	315,05	315,25	315,25
20	314,85	314,05	314,45	315,25	315,25	315,45	315,15	315,35	314,25
21	315,05	314,25	314,75	315,15	314,85	314,65	315,45	315,65	315,15
22	315,15	314,45	314,95	315,25	315,35	315,35	315,75	316,05	315,45
23	315,45	314,55	315,05	315,35	315,55	315,45	316,05	316,15	315,65
24	315,65	314,85	315,15	315,45	315,65	315,55	316,05	316,55	315,85
25	315,05	314,95	314,85	316,75	315,55	316,95	316,55	316,75	316,35
26	314,75	314,65	315,05	315,55	316,05	315,55	317,75	317,05	316,55
27	314,25	314,15	314,65	314,75	314,85	315,95	316,05	317,65	317,45
28	313,45	312,95	314,75	315,05	314,15	316,25	315,65	316,75	316,15
29	313,35	312,65	313,25	314,95	315,05	316,15	316,85	316,65	317,25
30	312,35	312,25	312,85	315,25	315,15	315,15	316,55	315,45	315,45
31	312,65	311,95	312,75	315,25	315,55	315,35	315,65	315,25	315,15

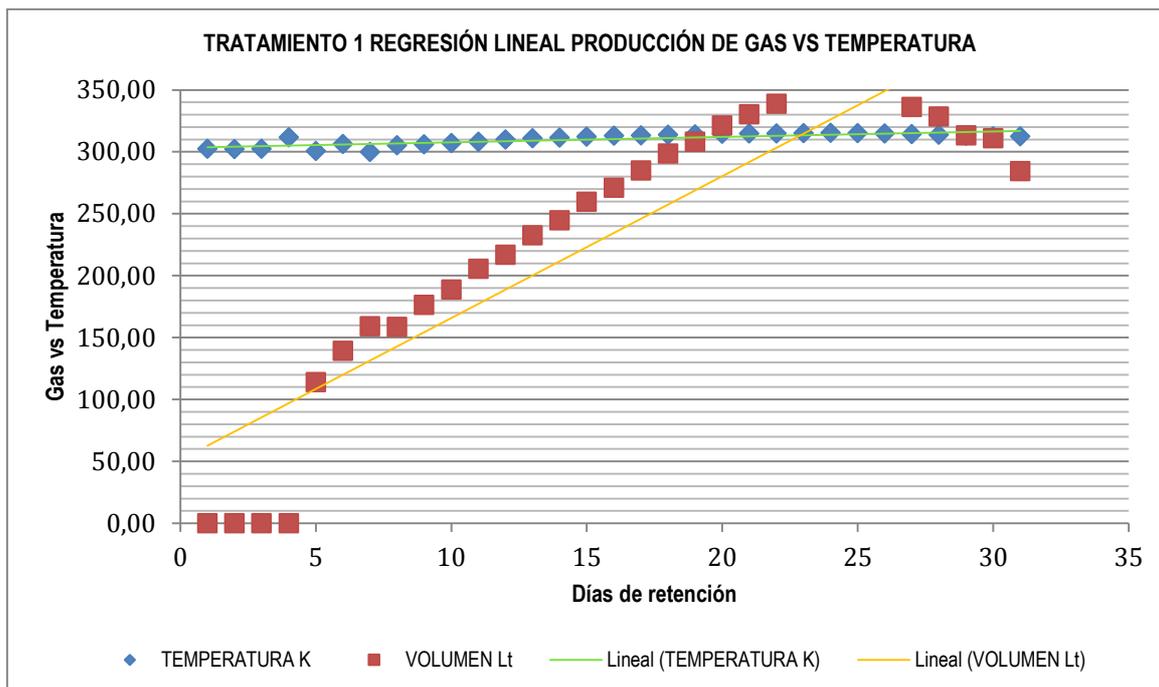


Gráfico 4. 1. Representación de promedios entre la relación de temperatura y volumen

Bravo y Cosquillo (2011), expresan que la temperatura está relacionada directamente al tiempo en que debe permanecer la biomasa dentro de los biodigestores para completar su degradación. El gráfico 4.1 indica que la temperatura no tiene mayor significancia entre días, es decir que se mantiene en un promedio estándar durante el tiempo de retención. Por otro lado, se puede observar que el volumen del gas producido mantiene un crecimiento exponencial, estabilizándose entre los días 24 al 26, finalmente descende hasta llegar al día 31. Cabe mencionar que si existiera una carga constante de las excretas, el comportamiento del volumen se mantuviera en ascenso.

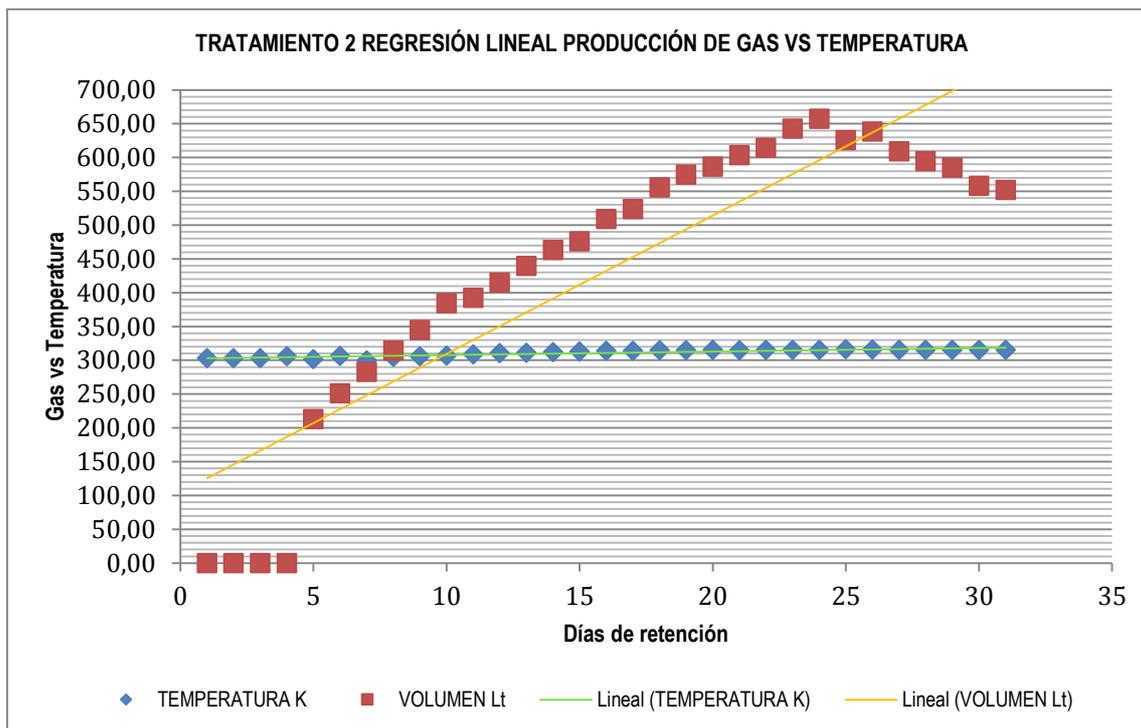


Gráfico 4. 2. Representación de promedios entre la relación de temperatura y volumen del tratamiento 2.

El gráfico 4.2 muestra que la temperatura en este tratamiento tampoco tiene mayor significancia entre días, es decir que se mantiene en un promedio estándar; sin embargo este tratamiento logró alcanzar una temperatura máxima de 316,42 K (43,27°C), garantizando las mejores condiciones para que los microorganismos se desarrollen y beneficien una mejor producción de biogás. Por otro parte, se observa que la generación del gas asciende en el transcurso de los días, presentando un crecimiento exponencial hasta el día 25, a partir de este empieza su descenso, debido a que las bacterias encargadas de la degradación de la materia empiezan a decrecer.

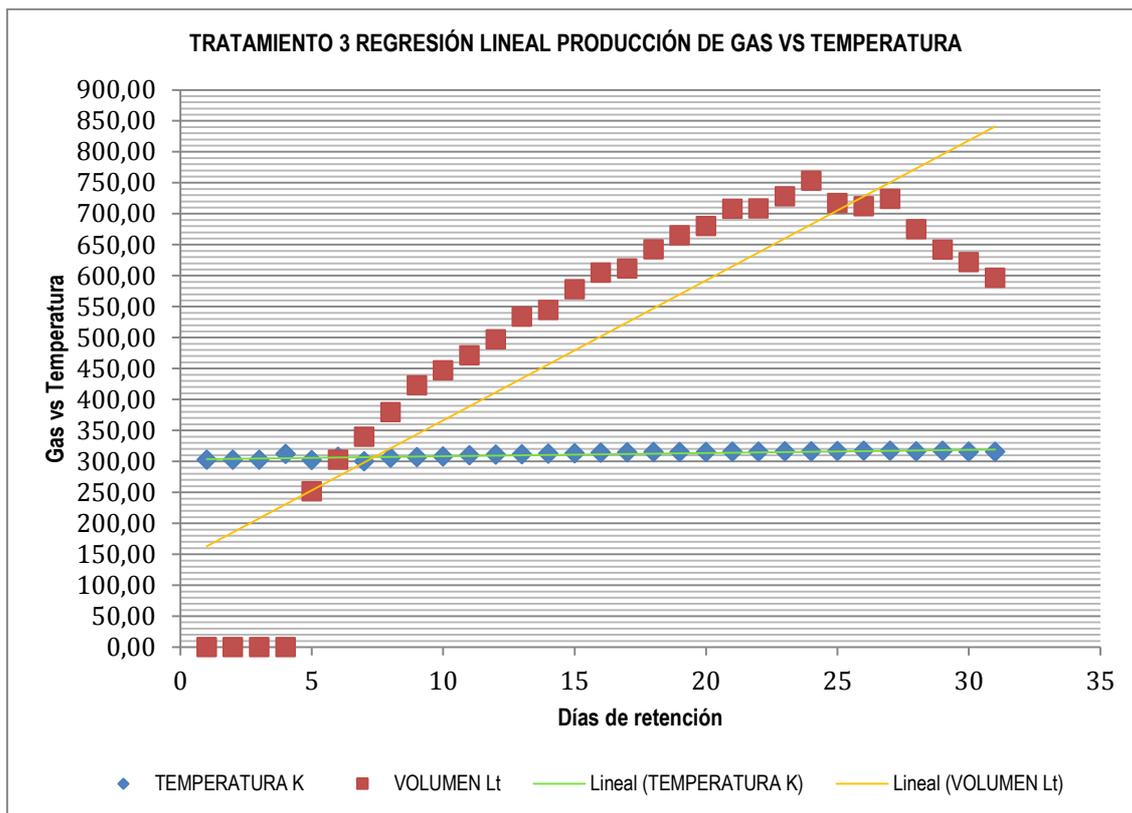


Gráfico 4. 3. Representación de promedios entre la relación de temperatura y volumen del tratamiento 3.

En el gráfico 4.3 se presentan las temperaturas promedios del tratamiento 3, alcanzadas en el tiempo de retención establecido, las cuales mantienen valores similares entre ellas. Con respecto al volumen, hubo una mayor generación de biogás que los demás tratamientos. Cabe mencionar que la temperatura es un factor determinante para la subsistencia de las bacterias, ya que si llegan a existir cambios violentos en esta, las bacterias tienden a morir y por ende disminuye la producción de biogás (Salazar y Villares, 2012).

4.2.2. DATOS DE PRESIÓN

El monitoreo de la presión se lo realizó durante 31 días al igual que la temperatura. Los datos de presiones registradas por cada tratamiento se muestran a continuación:

Cuadro 4. 5. Valores de presión en PSI.

DÍAS	PRESIÓN PSI								
	T ₁ R ₁	T ₁ R ₂	T ₁ R ₃	T ₂ R ₁	T ₂ R ₂	T ₂ R ₃	T ₃ R ₁	T ₃ R ₂	T ₃ R ₃
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1,00	1,00	1,00	1,10	1,10	1,00	1,10	1,15	1,15
6	1,00	1,00	1,00	1,10	1,10	1,10	1,15	1,15	1,15
7	1,00	1,00	1,00	1,10	1,15	1,10	1,15	1,20	1,15
8	1,15	1,15	1,20	1,15	1,20	1,15	1,20	1,25	1,20
9	1,15	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,25	1,25
10	1,25	1,20	1,25	1,20	1,20	1,20	1,30	1,35	1,25
11	1,25	1,20	1,30	1,30	1,30	1,30	1,40	1,40	1,30
12	1,30	1,30	1,30	1,35	1,35	1,35	1,40	1,45	1,40
13	1,35	1,30	1,30	1,40	1,35	1,40	1,45	1,45	1,40
14	1,35	1,35	1,35	1,40	1,45	1,40	1,55	1,50	1,50
15	1,40	1,35	1,35	1,45	1,55	1,45	1,55	1,55	1,50
16	1,40	1,40	1,40	1,45	1,55	1,45	1,60	1,55	1,55
17	1,45	1,40	1,40	1,50	1,60	1,50	1,70	1,60	1,65
18	1,45	1,40	1,45	1,50	1,60	1,50	1,70	1,60	1,70
19	1,50	1,45	1,45	1,50	1,65	1,55	1,75	1,65	1,70
20	1,50	1,45	1,50	1,55	1,65	1,65	1,80	1,65	1,80
21	1,50	1,50	1,55	1,55	1,75	1,65	1,80	1,70	1,80
22	1,60	1,50	1,55	1,60	1,80	1,70	1,85	1,85	1,85
23	1,60	1,50	1,60	1,60	1,80	1,70	1,90	1,85	1,90
24	1,60	1,55	1,60	1,65	1,80	1,75	1,90	1,90	1,90
25	1,65	1,60	1,65	1,90	1,85	1,95	2,15	2,00	2,10
26	1,75	1,60	1,65	1,85	1,95	1,85	2,05	2,00	2,00
27	1,70	1,70	1,70	1,85	1,90	1,85	2,10	2,05	2,05
28	1,60	1,65	1,75	1,80	1,90	1,80	2,05	2,05	2,00
29	1,65	1,65	1,70	1,75	1,85	1,75	2,00	2,10	2,05
30	1,55	1,60	1,65	1,75	1,85	1,75	1,95	2,15	1,95
31	1,50	1,60	1,65	1,70	1,75	1,70	1,95	2,15	1,90

T₁R₁.- La presión inicial del tratamiento 1 repetición 1, fue de 1 psi; la cual se mantuvo así durante los días 5, 6 y 7, siendo las más bajas de este tratamiento. En los días siguientes la presión ascendió hasta llegar a su pico con un valor de 1,75 psi reflejados en el día 26. Por las variaciones presentadas dentro del reactor la presión descendió en el día 31 a 1,50 psi.

T₁R₂.- El tratamiento 1 repetición 2, tuvo una presión inicial de 1 psi, que al igual que la réplica anterior se mantuvo así durante los días 5, 6 y 7; también registradas como las más bajas. En el día 27 ascendió la presión a 1,70 psi.

Finalmente desciende a 1,65 psi en el día 31. **T₁R₃.**- El tratamiento 1 repetición 3, inició su presión en 1 psi, manteniéndose así los días 5, 6 y 7, registrados como los días más bajos. Por las variaciones internas en el biodigestor, la

presión ascendió significativamente el día 28 con un valor de 1,75 psi. Finalmente desciende en el día 31 llegando a 1,65 psi.

T₂R₁.- La presión inicial del tratamiento 2 repetición 1, fue de 1,10 psi; la cual se mantuvo así durante los días 5, 6 y 7, siendo las más bajas de este tratamiento. En los días siguientes la presión ascendió hasta llegar a su pico con un valor de 1,90 psi reflejados en el día 25. Por las variaciones presentadas dentro del reactor la presión descendió en el día 31 a 1,70 psi.

T₂R₂.- El tratamiento 2 repetición 2, tuvo una presión inicial de 1,10 psi, la cual se mantuvo así durante los días 5 y 6, también registradas como las más bajas. En el día 26 ascendió la presión a 1,95 psi. Finalmente desciende a 1,75 psi en el día 31.

T₂R₃.- El tratamiento 2 repetición 3, inició su presión en 1 psi, presentada como la más baja del tratamiento. Por las variaciones internas en el biodigestor, la presión ascendió significativamente el día 25 con un valor de 1,95 psi. Finalmente desciende en el día 31 llegando a 1,70 psi.

T₃R₁.- La presión inicial del tratamiento 3 repetición 1, fue de 1,10 psi, reflejada en el día 5 como la más baja del tratamiento. En los días siguientes la presión ascendió hasta llegar a su pico con un valor de 2,15 psi mostrados en el día 25.

Por las variaciones presentadas dentro del reactor la presión descendió en el día 31 a 1,95 psi.

T₃R₂.- El tratamiento 3 repetición 2, tuvo una presión inicial de 1,15 psi, que se mantuvo durante los días 5 y 6, también registradas como las más bajas. La presión ascendió progresivamente y llegó a alcanzar su máximo registro los días 30 y 31 con un valor de 2,15 psi.

T₃R₃.- El tratamiento 3 repetición 3, inició su presión en 1,15 psi; manteniéndose así los días 5, 6 y 7, registrados como los días más bajos. Por las variaciones internas en el biodigestor, la presión ascendió significativamente el día 25 con un valor de 2,10 psi. Finalmente desciende en el día 31 llegando a 1,90 psi.

Ningún tratamiento junto con sus réplicas registró presiones durante los primeros cuatro días. A partir del quinto día empezaron a generarse las presiones tal como lo indica el cuadro 4.5. Las presiones registradas en todos los tratamientos se encuentran en un rango de 1 a 2,15 psi, valores que sufrieron variaciones debido al tiempo de retención y al medio exterior; tal como

lo indica Souza y Schaeffer (2013), quienes expresan que el biogás se puede dar en diferentes niveles de presión dependiendo del entorno donde se implementen los reactores. Se consideró necesario convertir los datos registrados de presión en psi a Pa, y así poder emplear la fórmula universal de los gases ideales, de manera que facilite la aplicación de la ecuación y se obtengan resultados de volúmenes más veraces.

Cuadro 4. 6. Valores de presión en Pascales.

DÍAS	PRESIÓN Pa								
	T ₁ R ₁	T ₁ R ₂	T ₁ R ₃	T ₂ R ₁	T ₂ R ₂	T ₂ R ₃	T ₃ R ₁	T ₃ R ₂	T ₃ R ₃
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	6894,76	6894,76	6894,76	7584,23	7584,23	6894,76	7584,23	7928,97	7928,97
6	6894,76	6894,76	6894,76	7584,23	7584,23	7584,23	7928,97	7928,97	7928,97
7	6894,76	6894,76	6894,76	7584,23	7928,97	7584,23	7928,97	8273,71	7928,97
8	7928,97	7928,97	8273,71	7928,97	8273,71	7928,97	8273,71	8618,45	8273,71
9	7928,97	8273,71	8273,71	8273,71	8273,71	8273,71	8273,71	8618,45	8618,45
10	8618,45	8273,71	8618,45	8273,71	8273,71	8273,71	8963,18	9307,92	8618,45
11	8618,45	8273,71	8963,18	8963,18	8963,18	8963,18	9652,66	9652,66	8963,18
12	8963,18	8963,18	8963,18	9307,92	9307,92	9307,92	9652,66	9997,40	9652,66
13	9307,92	8963,18	8963,18	9652,66	9307,92	9652,66	9997,40	9997,40	9652,66
14	9307,92	9307,92	9307,92	9652,66	9997,40	9652,66	10686,87	10342,10	10342,10
15	9652,66	9307,92	9307,92	9997,40	10686,87	9997,40	10686,87	10686,87	10342,10
16	9652,66	9652,66	9652,66	9997,40	10686,87	9997,40	11031,60	10686,87	10686,87
17	9997,40	9652,66	9652,66	10342,10	11031,60	10342,10	11721,10	11031,60	11376,35
18	9997,40	9652,66	9997,40	10342,10	11031,60	10342,10	11721,10	11031,60	11721,10
19	10342,10	9997,40	9997,40	10342,10	11376,35	10686,87	12065,83	11376,35	11721,10
20	10342,10	9997,40	10342,10	10686,87	11376,35	11376,35	12410,60	11376,35	12410,60
21	10342,10	10342,10	10686,87	10686,87	12065,83	11376,35	12410,60	11721,10	12410,60
22	11031,60	10342,10	10686,87	11031,60	12410,60	11721,10	12755,30	12755,30	12755,30
23	11031,60	10342,10	11031,60	11031,60	12410,60	11721,10	13100,00	12755,30	13100,00
24	11031,60	10686,87	11031,60	11376,35	12410,60	12065,83	13100,00	13100,00	13100,00
25	11376,35	11031,60	11376,35	13100,00	12755,30	13444,78	14823,73	13789,50	14479,00
26	12065,83	11031,60	11376,35	12755,30	13444,78	12755,30	14134,25	13789,50	13789,50
27	11721,10	11721,10	11721,10	12755,30	13100,00	12755,30	14479,00	14134,25	14134,25
28	11031,60	11376,35	12065,83	12410,60	13100,00	12410,60	14134,25	14134,25	13789,50
29	11376,35	11376,35	11721,10	12065,83	12755,30	12065,83	13789,50	14479,00	14134,25
30	10686,87	11031,60	11376,35	12065,83	12755,30	12065,83	13444,78	14823,73	13444,78
31	10342,10	11031,60	11376,35	11721,10	12065,83	11721,10	13444,78	14823,73	13100,00

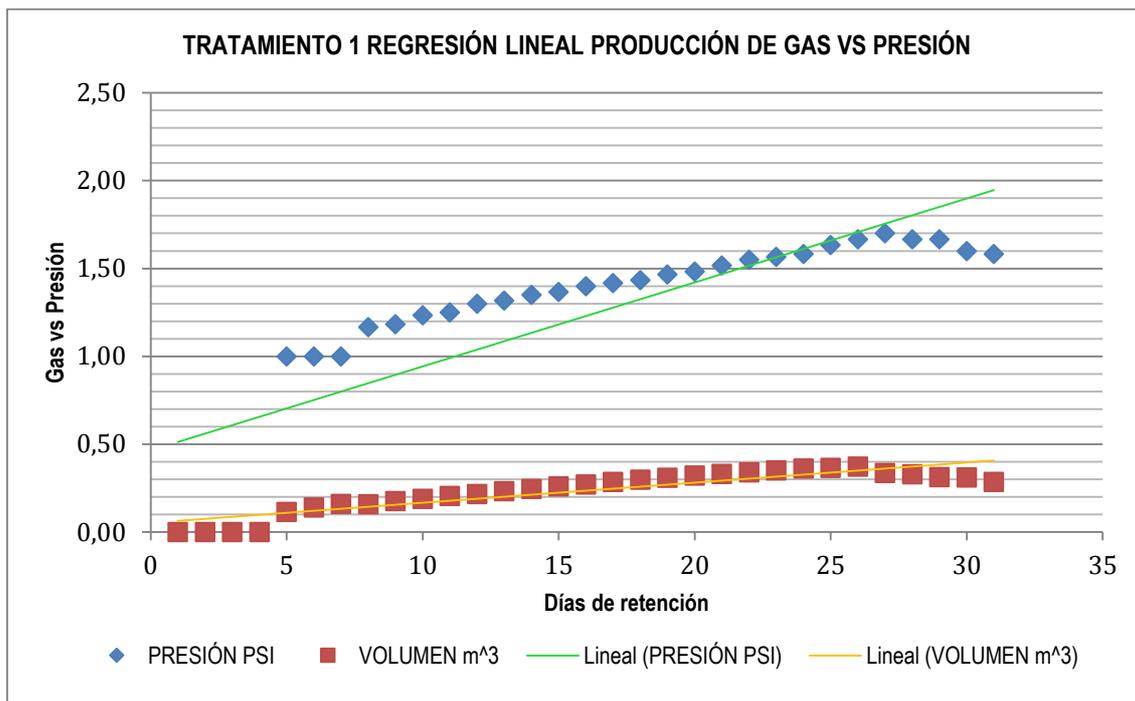


Gráfico 4. 4. Representación de promedios entre la relación de presión y volumen del tratamiento 1.

En el gráfico 4.4 se puede observar que en los cuatro días iniciales no hubo registro de presiones; esto se debe a que los microorganismos primero realizan su proceso de adaptación al medio, luego degradan la materia orgánica, y durante este proceso existe liberación de hidrógeno y CO_2 , elementos claves para la formación del metano (Colmenares, 1987; citado por Díaz *et al.*, 2012). En el quinto día se inició la generación del biogás, el cual fue ascendiendo progresivamente, debido al incremento de los microorganismos responsables de descomponer la biomasa.

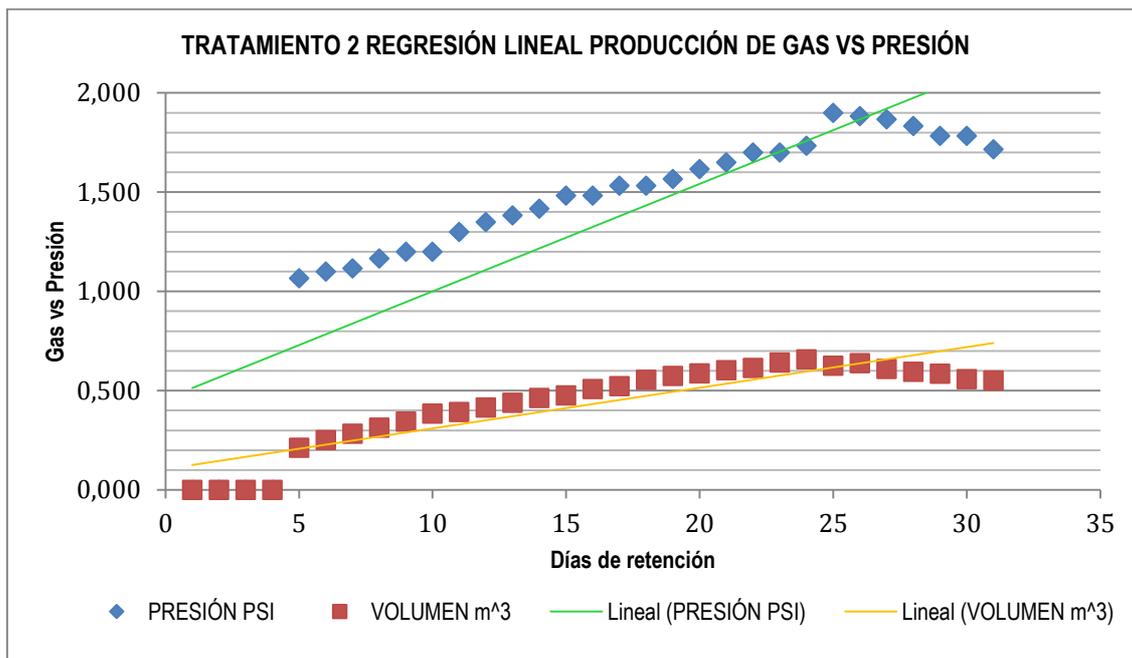


Gráfico 4. 5. Representación de promedios entre la relación de presión y volumen del tratamiento 2.

El gráfico 4.5 muestra la relación de los promedios entre presión y volumen del tratamiento 2. Como se puede observar la presión empieza a registrarse desde el quinto día, lo que indica que ha iniciado el proceso de descomposición de la materia orgánica y por lo tanto la producción de biogás. El registro máximo de presión se dio el día 25 con un valor de 1,90 psi, esto es gracias a que las bacterias se encontraban en las condiciones óptimas para realizar eficazmente el proceso de degradación de la materia. En lo que respecta al volumen, también pasó por cambios moderados durante el tiempo de retención; el cual se incrementaba en forma exponencial con base a la presión.

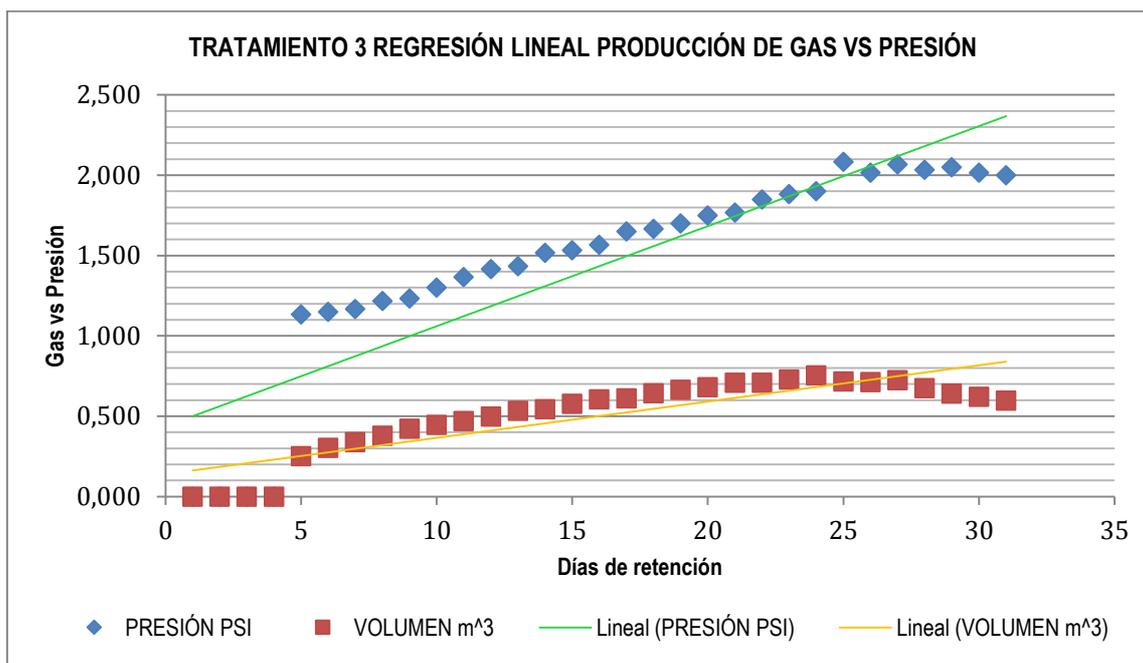


Gráfico 4. 6. Representación de promedios entre la relación de presión y volumen del tratamiento 3.

Guerrero *et al.*, (2016), expresan que la adición de residuos ricos en nitrógeno aumentan significativamente la producción de metano. Con base a esto se puede decir que los residuos agrícolas colocados como parte de la biomasa ayudaron al incremento de la generación del gas, tal como se muestra en el gráfico 4.6, donde se percibe un aumento en el volumen del biogás comparado a los demás tratamientos. Este aumento presenta un comportamiento exponencial, registrando su presión máxima en el día 25 con 2,08 psi, esto se debe a que la materia orgánica se encontraba en las condiciones adecuadas para aportar en el proceso de descomposición de la misma. A partir del día 26 se registra un descenso moderado en las presiones; lo que indica que la materia orgánica ya ha sido degradada y por ende los microorganismos empiezan a morir y la generación de gas a disminuir.

4.2.3. MEDICIÓN DEL VOLUMEN DEL GAS PRODUCIDO

Se determinó la masa del gas obtenido en cada unidad experimental mediante diferenciación de masa.

Cuadro 4. 7. Masa determinada por tratamiento en Kg.

DÍAS	MASA Kg								
	T ₁ R ₁	T ₁ R ₂	T ₁ R ₃	T ₂ R ₁	T ₂ R ₂	T ₂ R ₃	T ₃ R ₁	T ₃ R ₂	T ₃ R ₃
1	0,0010	0,0010	0,0010	0,0020	0,0020	0,0020	0,0025	0,0025	0,0025
2	0,0020	0,0021	0,0020	0,0040	0,0040	0,0040	0,0050	0,0050	0,0050
3	0,0030	0,0031	0,0030	0,0060	0,0060	0,0060	0,0075	0,0075	0,0075
4	0,0040	0,0041	0,0040	0,0079	0,0080	0,0080	0,0100	0,0100	0,0100
5	0,0050	0,0051	0,0050	0,0099	0,0100	0,0100	0,0125	0,0125	0,0125
6	0,0060	0,0062	0,0059	0,0119	0,0120	0,0120	0,0150	0,0150	0,0150
7	0,0070	0,0072	0,0069	0,0139	0,0140	0,0140	0,0175	0,0175	0,0175
8	0,0080	0,0082	0,0079	0,0159	0,0160	0,0160	0,0200	0,0200	0,0200
9	0,0090	0,0092	0,0089	0,0179	0,0180	0,0180	0,0225	0,0225	0,0225
10	0,0100	0,0103	0,0099	0,0199	0,0200	0,0200	0,0251	0,0251	0,0250
11	0,0110	0,0113	0,0109	0,0218	0,0220	0,0219	0,0276	0,0276	0,0275
12	0,0120	0,0123	0,0119	0,0238	0,0240	0,0239	0,0301	0,0301	0,0300
13	0,0130	0,0133	0,0129	0,0258	0,0260	0,0259	0,0326	0,0326	0,0325
14	0,0140	0,0144	0,0139	0,0278	0,0280	0,0279	0,0351	0,0351	0,0350
15	0,0150	0,0154	0,0149	0,0298	0,0300	0,0299	0,0376	0,0376	0,0375
16	0,0160	0,0164	0,0158	0,0318	0,0320	0,0319	0,0401	0,0401	0,0400
17	0,0170	0,0174	0,0168	0,0337	0,0340	0,0339	0,0426	0,0426	0,0425
18	0,0180	0,0185	0,0178	0,0357	0,0360	0,0359	0,0451	0,0451	0,0450
19	0,0190	0,0195	0,0188	0,0377	0,0380	0,0379	0,0476	0,0476	0,0475
20	0,0200	0,0205	0,0198	0,0397	0,0400	0,0399	0,0501	0,0501	0,0500
21	0,0210	0,0215	0,0208	0,0417	0,0420	0,0419	0,0526	0,0526	0,0525
22	0,0220	0,0226	0,0218	0,0437	0,0440	0,0439	0,0551	0,0551	0,0550
23	0,0230	0,0236	0,0228	0,0457	0,0460	0,0459	0,0576	0,0576	0,0575
24	0,0240	0,0246	0,0238	0,0476	0,0480	0,0479	0,0601	0,0601	0,0600
25	0,0250	0,0256	0,0248	0,0496	0,0500	0,0499	0,0626	0,0626	0,0625
26	0,0260	0,0267	0,0257	0,0476	0,0520	0,0519	0,0601	0,0601	0,0600
27	0,0240	0,0246	0,0238	0,0476	0,0480	0,0479	0,0626	0,0626	0,0625
28	0,0230	0,0236	0,0228	0,0457	0,0460	0,0459	0,0576	0,0576	0,0575
29	0,0220	0,0226	0,0218	0,0437	0,0440	0,0439	0,0551	0,0551	0,0550
30	0,0210	0,0215	0,0208	0,0417	0,0420	0,0419	0,0526	0,0526	0,0525
31	0,0190	0,0195	0,0188	0,0397	0,0400	0,0399	0,0501	0,0501	0,0500

Para la correcta aplicación de la ecuación universal de los gases ideales, se convirtieron los datos registrados de masa en kg a mol, como se muestra a continuación:

Cuadro 4. 8. Masa determinada por tratamiento en mol.

DÍAS	MASA (mol)								
	T ₁ R ₁	T ₁ R ₂	T ₁ R ₃	T ₂ R ₁	T ₂ R ₂	T ₂ R ₃	T ₃ R ₁	T ₃ R ₂	T ₃ R ₃
1	0,0625	0,0641	0,0619	0,1241	0,1250	0,1247	0,1566	0,1566	0,1563
2	0,1250	0,1281	0,1238	0,2481	0,2500	0,2494	0,3131	0,3131	0,3125
3	0,1875	0,1922	0,1856	0,3722	0,3750	0,3741	0,4697	0,4697	0,4688
4	0,2500	0,2563	0,2475	0,4963	0,5000	0,4988	0,6263	0,6263	0,6250
5	0,3125	0,3203	0,3094	0,6203	0,6250	0,6234	0,7828	0,7828	0,7813
6	0,3750	0,3844	0,3713	0,7444	0,7500	0,7481	0,9394	0,9394	0,9375
7	0,4375	0,4484	0,4331	0,8684	0,8750	0,8728	1,0959	1,0959	1,0938
8	0,5000	0,5125	0,4950	0,9925	1,0000	0,9975	1,2525	1,2525	1,2500
9	0,5625	0,5766	0,5569	1,1166	1,1250	1,1222	1,4091	1,4091	1,4063
10	0,6250	0,6406	0,6188	1,2406	1,2500	1,2469	1,5656	1,5656	1,5625
11	0,6875	0,7047	0,6806	1,3647	1,3750	1,3716	1,7222	1,7222	1,7188
12	0,7500	0,7688	0,7425	1,4888	1,5000	1,4963	1,8788	1,8788	1,8750
13	0,8125	0,8328	0,8044	1,6128	1,6250	1,6209	2,0353	2,0353	2,0313
14	0,8750	0,8969	0,8663	1,7369	1,7500	1,7456	2,1919	2,1919	2,1875
15	0,9375	0,9609	0,9281	1,8609	1,8750	1,8703	2,3484	2,3484	2,3438
16	1,0000	1,0250	0,9900	1,9850	2,0000	1,9950	2,5050	2,5050	2,5000
17	1,0625	1,0891	1,0519	2,1091	2,1250	2,1197	2,6616	2,6616	2,6563
18	1,1250	1,1531	1,1138	2,2331	2,2500	2,2444	2,8181	2,8181	2,8125
19	1,1875	1,2172	1,1756	2,3572	2,3750	2,3691	2,9747	2,9747	2,9688
20	1,2500	1,2813	1,2375	2,4813	2,5000	2,4938	3,1313	3,1313	3,1250
21	1,3125	1,3453	1,2994	2,6053	2,6250	2,6184	3,2878	3,2878	3,2813
22	1,3750	1,4094	1,3613	2,7294	2,7500	2,7431	3,4444	3,4444	3,4375
23	1,4375	1,4734	1,4231	2,8534	2,8750	2,8678	3,6009	3,6009	3,5938
24	1,5000	1,5375	1,4850	2,9775	3,0000	2,9925	3,7575	3,7575	3,7500
25	1,5625	1,6016	1,5469	3,1016	3,1250	3,1172	3,9141	3,9141	3,9063
26	1,6250	1,6656	1,6088	2,9775	3,2500	3,2419	3,7575	3,7575	3,7500
27	1,5000	1,5375	1,4850	2,9775	3,0000	2,9925	3,9141	3,9141	3,9063
28	1,4375	1,4734	1,4231	2,8534	2,8750	2,8678	3,6009	3,6009	3,5938
29	1,3750	1,4094	1,3613	2,7294	2,7500	2,7431	3,4444	3,4444	3,4375
30	1,3125	1,3453	1,2994	2,6053	2,6250	2,6184	3,2878	3,2878	3,2813
31	1,1875	1,2172	1,1756	2,4813	2,5000	2,4938	3,1313	3,1313	3,1250

Para la determinación del volumen de gas en cada tratamiento, se aplicó la ecuación universal de los gases ideales:

$$V = \frac{nRT}{P} \quad [4.3]$$

Obteniendo los siguientes resultados de volumen:

Cuadro 4. 9. Volumen del gas generado en cada unidad experimental.

DÍAS	VOLUMEN m ³								
	T ₁ R ₁	T ₁ R ₂	T ₁ R ₃	T ₂ R ₁	T ₂ R ₂	T ₂ R ₃	T ₃ R ₁	T ₃ R ₂	T ₃ R ₃
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0,1132	0,1162	0,1123	0,2055	0,2065	0,2266	0,2596	0,2478	0,2469
6	0,1386	0,1416	0,1374	0,2506	0,2514	0,2511	0,3030	0,3030	0,3016
7	0,1582	0,1621	0,1567	0,2856	0,2751	0,2869	0,3447	0,3302	0,3441
8	0,1590	0,1652	0,1516	0,3181	0,3052	0,3195	0,3845	0,3708	0,3833
9	0,1795	0,1787	0,1711	0,3441	0,3445	0,3456	0,4339	0,4185	0,4155
10	0,1840	0,1991	0,1830	0,3834	0,3839	0,3851	0,4465	0,4318	0,4631
11	0,2038	0,2182	0,1948	0,3917	0,3923	0,3935	0,4582	0,4623	0,4932
12	0,2151	0,2214	0,2138	0,4137	0,4149	0,4157	0,5029	0,4876	0,5009
13	0,2255	0,2403	0,2320	0,4324	0,4514	0,4347	0,5269	0,5287	0,5448
14	0,2432	0,2495	0,2411	0,4666	0,4536	0,4692	0,5321	0,5516	0,5490
15	0,2520	0,2680	0,2590	0,4842	0,4561	0,4869	0,5720	0,5723	0,5899
16	0,2702	0,2762	0,2667	0,5181	0,4884	0,5202	0,5927	0,6126	0,6097
17	0,2774	0,2937	0,2835	0,5327	0,5033	0,5348	0,5933	0,6312	0,6097
18	0,2942	0,3114	0,2902	0,5654	0,5338	0,5677	0,6292	0,6694	0,6283
19	0,3004	0,3177	0,3064	0,5972	0,5467	0,5801	0,6458	0,6854	0,6639
20	0,3164	0,3346	0,3128	0,6086	0,5760	0,5749	0,6611	0,7217	0,6579
21	0,3324	0,3399	0,3182	0,6388	0,5695	0,6021	0,6948	0,7362	0,6928
22	0,3266	0,3563	0,3336	0,6485	0,5810	0,6136	0,7089	0,7096	0,7068
23	0,3418	0,3726	0,3379	0,6782	0,6078	0,6417	0,7223	0,7421	0,7200
24	0,3569	0,3766	0,3527	0,6865	0,6344	0,6507	0,7537	0,7549	0,7518
25	0,3598	0,3802	0,3560	0,6235	0,6428	0,6110	0,6949	0,7475	0,7096
26	0,3524	0,3950	0,3704	0,6124	0,6352	0,6668	0,7023	0,7183	0,7157
27	0,3344	0,3426	0,3315	0,6109	0,5995	0,6163	0,7104	0,7314	0,7295
28	0,3396	0,3370	0,3087	0,6023	0,5732	0,6076	0,6686	0,6710	0,6851
29	0,3149	0,3220	0,3025	0,5924	0,5647	0,5976	0,6580	0,6263	0,6415
30	0,3190	0,3166	0,2971	0,5660	0,5393	0,5686	0,6436	0,5817	0,6401
31	0,2985	0,2862	0,2687	0,5549	0,5436	0,5578	0,6112	0,5537	0,6251

Carillo (2003) establece que el volumen de biogás generado en reactores varía de acuerdo a la materia orgánica, la carga del digestor, el tiempo de retención de los residuos dentro del digestor y el diseño del mismo; lo cual se constata en los registros del cuadro 4.9., ya que se muestran datos de volúmenes que varían significativamente durante el proceso de retención de la materia orgánica. Se hace énfasis que el tratamiento que tuvo una mayor producción de biogás fue el número 3, en su repetición 2 con un registro máximo de 0,7549 m³.

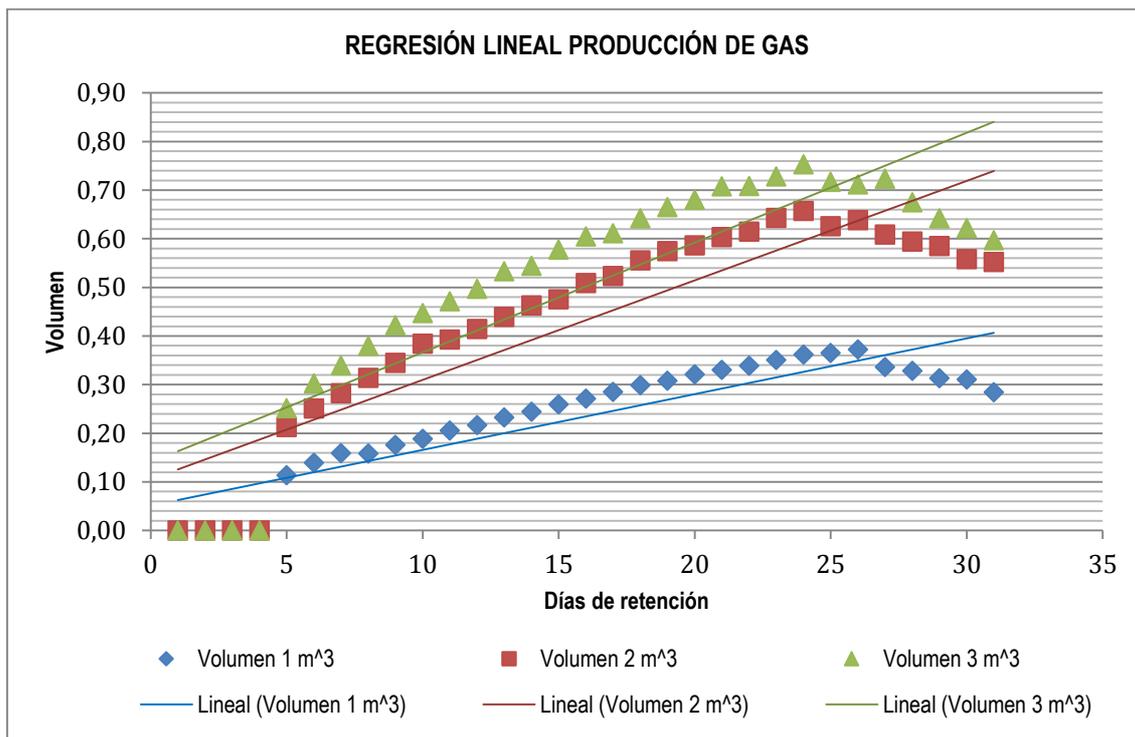


Gráfico 4. 7. Volumen de biogás producido de acuerdo a cada tratamiento.

La generación de biogás es un proceso que obedece primordialmente al tiempo de retención de la materia orgánica, período necesario para que los microorganismos responsables de la degradación de los residuos procedan liberando energía (Colmenares, 1987; citado por Díaz *et al.*, 2012).

Como se muestra en el gráfico 4.7 la producción de biogás se inició al quinto día, siendo este el más bajo en producción para todos los tratamientos. Se registró un incremento progresivo en los siguientes días, alcanzando un volumen máximo en los días 24, 25 y 26; esto se debe al aumento de la población microbiana y a las condiciones ambientales que favorecieron el proceso de degradación.

A partir del día 27 hubo un mínimo descenso en el volumen del gas producido, el cual empieza a estabilizarse, debido a que la materia orgánica presente ha sido degradada en su totalidad y los microorganismos empiezan a morir.

4.2.4. VARIABLES ANALIZADAS ESTADÍSTICAMENTE

Mediante el software SPSS se logró obtener el ANOVA (cuadro 4.10), en el cual no se encontró diferencias estadísticas significativas, lo que indica que el factor no influye en la variable dependiente, es decir, los distintos niveles del factor se comportan de igual forma en lo que a esta se refiere.

En el gráfico 4.8, se muestra la producción de biogás respecto a las concentraciones de gallinaza utilizadas por cada unidad experimental. En donde se encuentra reflejado que no existe una diferencia de producción de gas significativa entre tratamientos. Siendo así, que todas las concentraciones de gallinaza generan biogás en volúmenes diferentes. Esto concuerda con la investigación realizada por Amado y Prada (2008), quienes aplicaron 5 experimentos con concentraciones diferentes de pollinaza y agua residual, donde se evidenció que todos produjeron biogás pero en cantidades distintas.

Cuadro 4. 10. ANOVA (Análisis de Varianza).

Fuente	gl	Suma cuadrática	Media cuadrática	Valor F	Significancia
Gallinaza	2	0.00002	0.000011	0.001	0.999
Residual	6	0.11587	0.019311		
Total	8				

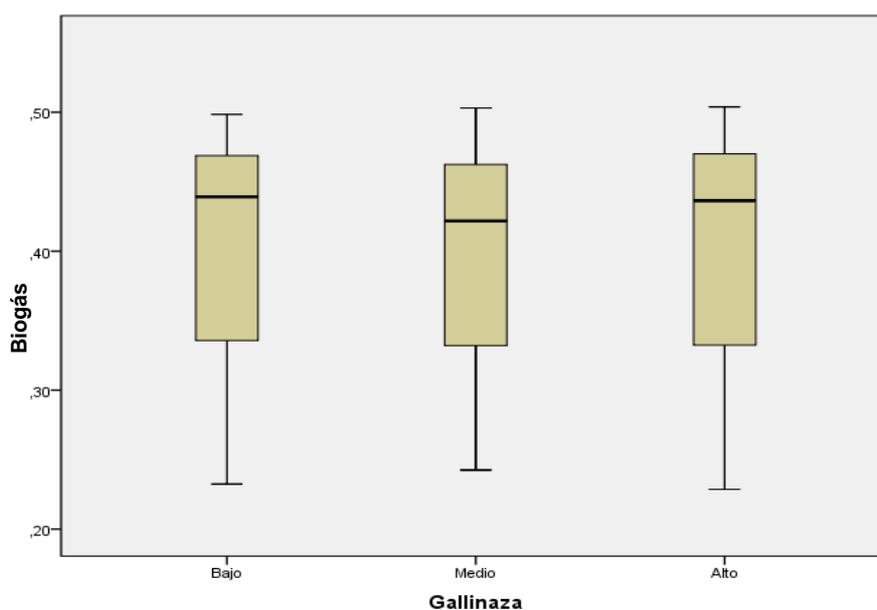


Gráfico 4. 8. Promedio de la producción de biogás de acuerdo a la cantidad de gallinaza utilizada.

4.3. DETERMINACIÓN DEL COSTO DE PRODUCCIÓN DEL BIOGÁS

Esto se lo llevó a cabo mediante la aplicación del método “Costo de Producción” desglosado de la siguiente manera:

Cuadro 4. 11. Materia prima (Mp).

MATERIA PRIMA (RECOLECCIÓN)			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Mascarillas	4	\$0,50	\$2,00
Mandil	2	\$12,00	\$24,00
Guantes	4 pares	\$1,00	\$4,00
Pala	1	\$8,00	\$8,00
Transporte	2 días	\$10,00	\$20,00
Viáticos	2 personas	\$5,00	\$10,00
Sacos	-	-	-
TOTAL			\$68,00

Cuadro 4. 12. Mano de obra directa (Mod).

MANO DE OBRA DIRECTA			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Mano de obra	2 días	\$25,00	\$50,00
TOTAL			\$50,00

Cuadro 4. 13. Gastos de producción (Gp).

GASTOS DE PRODUCCIÓN			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Pala	1	\$8,00	\$8,00
Contenedores	3	\$6,00	\$18,00
Ligas	6	\$0,50	\$3,00
Llaves de paso	6	\$1,20	\$7,20
Tee	3	\$0,70	\$2,10
Manómetros	3	\$11,25	\$33,75
Adaptadores	3	\$2,25	\$6,75
Buje	3	\$0,45	\$1,35
Tubo	1	\$4,30	\$4,30
Corte de tubo	-	\$3,00	\$3,00
Teflón	1	\$0,90	\$0,90
TOTAL			\$88,35

Aplicando la fórmula correspondiente se obtuvo el siguiente resultado:

$$CP = [(M_p + M_{od} + G_p)]$$

$$CP = [(\$68,00 + \$50,00 + \$88,35)]$$

$$CP = \$206,35$$

El resultado alcanzado es de \$206,35; cuyo valor es el aproximado que tuvo la producción de biogás por cada tratamiento.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.

Las mezclas aplicadas en el experimento planteado fueron: 10 Kg de Gallinaza/6 Kg de residuos agrícolas/20 Kg de agua para el primer tratamiento; 20 Kg de Gallinaza/6 Kg de residuos agrícolas/30 Kg de agua para el segundo tratamiento; y, 30 Kg de Gallinaza/6 Kg de residuos agrícolas/40 Kg de agua para el tercer tratamiento; la relación masa seca y agua que mayor volumen de gas produjo fue 1:1,33.

Los volúmenes promedio generados en los tratamientos 1, 2, y 3 fueron 7,27 m³, 13,40 m³ y 15,55 m³ respectivamente, se puede observar claramente que el tercer tratamiento es el que mayor volumen de gas generó, sin embargo en el análisis de varianza no muestran diferencias estadísticas significativas.

El costo de producción del biogás fue de \$206,35 por tratamiento, se pudo determinar que este es medianamente bajo debido a que no se generan costos mayores en la obtención de la materia prima.

5.2. RECOMENDACIONES

Incentivar al propietario de la granja en el uso de excretas para la producción de biogás, con fin de obtener un aprovechamiento energético de las mismas.

Se deben realizar pruebas de agua y aire para constatar que los contenedores no poseen algún orificio o anomalía que pueda provocar la fuga del gas.

Los materiales utilizados para la instalación de los reactores deben ser los adecuados, de manera que puedan asegurar la transferencia de calor a la materia orgánica que se encuentra dentro de los biodigestores.

Se recomienda que la granja implemente un área para el almacenamiento de la gallinaza y producción de biogás, con el fin de abastecer la avícola con este gas y al mismo tiempo poder comercializarlo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcayaga S; Glaría J; Guerrero L. 1999. Regulaciones de temperatura y potencial de hidrógeno en un biodigestor anaerobio de lecho de lodo granular expandido. Departamento de Electrónica, Universidad Técnica Federico Santa María, Casilla 110-V, Valparaíso, Chile.
- Alsativa Sociedad Cooperativa. 2015. Porqué es rentable producir en biogás. (En línea). Consultado, 3 de jul. 2016. Formato digital. Disponible en: <http://www.alsativa.es>
- Amado E. y Prada S. 2008. Evaluación de la producción de biogás a partir de pollinaza. Grupo de investigación, transformación química y medio ambiente. Instituto de Biocombustibles, Energías Alternativas y Renovables (IBEAR). Convenio No 193. Universidad de Pamplona.
- AME (Asociación de Municipalidades Ecuatorianas). 2010. Características geográficas del cantón Chone. (En línea). Consultado, 30 de may. 2016. Formato digital. Disponible en: <http://www.ame.gob.ec>
- Arboleda. 2009. Fundamentos para el diseño de biodigestores. (En línea). Consultado, 23 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu>
- Arias, 2016. Propuesta tecnológica para el aprovechamiento energético del bagazo de cebada malteada de la cervecería Hatuey. (En línea). Consultado, 19 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://scielo.sld.cu>
- Bautista, A. 2010. Sistema biodigestor para el tratamiento de desechos orgánicos-Nicaragua. (En línea). Consultado, 31 de may. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://e-archivo.uc3m.es>
- Bautista, 2010. Sistemas de biodigestor para el tratamiento de desechos orgánicos. Consultado, 23 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://e-archivo.uc3m.es>
- Bakieva y Gonzales. 2010. SPSS: ANOVA de un Factor. (En línea). Consultado, 30 de may. 2016. Formato PDF Disponible en: <http://www.uv.es>

- Bell, D. 1993. Manual de producción Avícola. Traducción por Michael Carrot. México DF., México. 797 p
- Belmuda, A. 2015. Evaluación de la producción de biogás a partir de la degradación de gallinaza sometida a diferentes relaciones. (En línea). Consultado, 30 de may. 2016. Formato PDF Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec>
- Blasco. 2014. Propiedades funcionales del plátano (Musa sp). (En línea). Consultado, 03 de agos. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.medigraphic.com>
- Boqué y Maroto. 2009. El análisis de la varianza (ANOVA). (En línea). Consultado, 03 de agos. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.quimica.urv.cat>
- Bravo, W. y Cosquillo, R. 2011. Cálculo, diseño y construcción de un biodigestor. Unidad Académica Ciencias de la Ingeniería. Ecuador.
- Cantarero, 2002. Evaluacion de tres tipos de fertilizantes (gallinaza, estiercol vacuno y un fertilizante mineral). (En línea). Consultado, 30 de jun. 2016. Formato PDF Disponible en: <http://repositorio.una.edu.ni>
- Carrillo, L. 2004. Energía de biomasa. 1° ed. S.S. Jujuy.
- Carrillo, H. 2003. Microbiología Agrícola. Argentina, Unsa.
- Castells, X. 2005. Tratamiento y Valorización Energética de Residuos. Consultado, 28 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.fcv.uagrm.edu>
- Castillo. 2006. Situación de la oferta nutritiva de gallinaza y pollinaza procesadas de granjas avícolas adyacentes a la ciudad de santa cruz de la sierra. (En línea). Consultado, 28 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.fcv.uagrm.edu>
- Castillo, J. 2007. Diseños experimentales e investigación científica. (En línea). Consultado, 15 de agos. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.web.facpya.uanl.mx>

- CEDECAP. 2007. Biodigestor de polietileno: construcción & diseño. (En línea). Consultado, 23 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.produccion-animal.com>
- Chacón. 2010. Biogás para la familia campesina. (En línea). Consultado, 19 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://cerai.org>
- COFECYT. 2013. Consejo Federal de Ciencia y Tecnología. (En línea). Consultado, 30 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.cofecyt.mincyt.gov.ar>
- Colmenares J. 1987 Evaluación de la producción de biogás y aislamiento de colonias bacterianas, Colombia.
- CONAVE (Corporación Nacional de Avicultores del Ecuador). 2007. Censo avicultura. (En línea). Consultado, 30 de may. 2016. Formato digital. Disponible en: <http://www.conave.org>
- Cuzme Y. y Zambrano R. 2012. Aprovechamiento de las excretas del área del hato bovino de la ESPAM–MFL para la obtención de biogás.
- Díaz. 2004. Utilización de biogás para la generación de electricidad. (En línea). Consultado, 22 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org>
- Estrada. 2005. Manejo y procesamiento de la gallinaza. (En línea). Consultado, 28 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.lasallista.edu>
- EVE (Ente Vasco de la Energía). 2001. Tecnologías Avanzadas de Generación Eléctrica. Plantas de Biogás.
- Figueroa, P. 2005 Política de reciclaje para la producción de alimento animal, energía y protección ambiental. (En línea). Consultado, 24 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.fpolar.org>
- Filippín, C., Rapallini, A. y Casagrande, G. 1998. Análisis de las Restricciones Ambientales y Socio-económicas para el Desarrollo de Proyectos Solares en la Provincia de La Pampa, In Actas de la XIII Reunión de Trabajo de ASADES, Asociación Argentina de Energía Solar, Voll, 123-132.

- Fuentes. 2012. Diseño y construcción de un biodigestor con sistema automático para generación de biogás en la finca Tanguarín de la parroquia San Antonio de Ibarra. (En línea). Consultado, 23 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec>
- Funk T.L. (2007). Digestores anaeróbico de metano para establos lecheros. Memorias DIGAL 2007p
- Giancoli, D. C., Física: Para Universitarios Volumen 1, Tercera edición, Prentice Hall, México 2002.
- Giorda. 2007. Biogás, potencial en desarrollo. (En línea). Consultado, 29 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.mbigua.org>
- Gülzow. 2010. Guía sobre el biogás, desde la producción hasta su uso. (En línea). Consultado, 18 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: <https://mediathek.fnr>
- Guerrero C., Peláez C., Molina F. Evaluación de la co-digestión anaerobia de lodos de aguas residuales municipales con residuos de alimentos. Grupo GAIA, Escuela Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia UdeA, Calle 70 No. 52-21, Medellín, Colombia.
- Henuk YL, Dingle JG. 2003. Poultry manure: source of fertilizer, fuel and feed. World Poultry Science Association: 352- 353.
- Herrero, M. 2008. Biodigestores familiares. Guía de diseño y manual de instalación. Biodigestores de polietileno tubular de bajo costo para trópico, valle y altiplano. (En línea). Consultado, 31 de jul. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.bivica.org>
- Hilbert, J. 2003. Manual para la producción de biogás. Instituto de Ingeniería Rural I.N.T.A.-Castelar.
- Hulshoof, L. 2008. Biogas Technology in Europe. LEAF.
- ICAITI. 2006. Fuentes de energías alternativas. (En línea). Consultado, 22 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://pdf.usaid.gov>

- Kolmsee, K. 2011. Biogás: alternativa para el tratamiento del estiércol. (En línea). Consultado, 27 de jul. 2016. Formato digital. Disponible en: <http://www.elsitioavicola.com>
- Lozada. 2013. Obtención de biogás en base a mezclas de gallinaza con residuos orgánicos de cerdo y cuy. (En línea). Consultado, 28 de jun. 2016. Formato PDF Disponible en: <http://repo.uta.edu.ec>
- Machorro, J. 2011. Manual Técnico: La Experiencia de Construcción y Uso de Biodigestores para Producción Energética en Copan y Lempira. (En línea). Consultado, 29 de jul. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://casmcopanenglish.weebly.com>
- Mack, O. 1993. Manual de producción Avícola. Tercera edición. Traducción por Michael Carrol. México DF., México. 800 p
- Mandujano, M.; Félix, A. y Martínez, A. 1981. Biogás, Energía y Fertilizante a partir de desechos orgánicos. OLADE, Serie de publicaciones especiales N°6, México. 41pp.
- Marti. 2011. Biodigestores de bajo costo para producir biogás y fertilizante natural. (En línea). Consultado, 29 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.ideassonline.org>
- Martí, N. 2008. Estudio del proceso de digestión anaerobia para optimizar la recuperación de fósforo en EDAR`S. Boca Ratón. Florida. USA.
- Moncayo, L. 2007. Dimensionamiento y diseño de biodigestores y plantas de biogás. (En línea). Consultado, 30 de may. 2016. Formato PDF Disponible en: <http://programaecomar.com>
- Montalvo. 2008. Manejo y disposición de la gallinaza en el núcleo de producción avícola en el sector de gabia. (En línea). Consultado, 28 de jun. 2016. Formato PDF Disponible en: <http://www.suagm.edu>
- M.J. MORAN, Fundamentos de Termodinámica Técnica, Barcelona, Reverté, 1993, pp. 1–26.
- Mullo. 2012. Manejo y procesamiento de gallinaza. . (En línea). Consultado, 30 de may. 2016. Formato PDF Disponible en: <http://dspace.esepoch.edu.ec>

- Muñoz. 1992. Uso de la Gallinaza. Memorias del foro: Conversión y uso de Gallinaza en Puerto Rico. Estación Experimental Agrícola: 16-25.
- Nahm, K.H. y Nahm, B.A. 2004. Poultry production and waste management. República de Corea, Yu Han Publishing. ISBN 89-7722-623-6.
- Narváez. 2007. Diseño, construcción y puesta en marcha de un biodigestor tipo piloto para la obtención de biogás y bioabono a partir de la mezcla de estiércol vacuno y suero de queso. (En línea). Consultado, 22 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec>
- Navarantnasamy, M y Koberstein, B. 2008. Anaerobic Digesters. (En línea). Consultado, 31 de may. 2016. Formato digital. Disponible en: <http://www.thepoultrysite.com>
- North. 2002. Manual de producción avícola. Editorial el manual moderno. México, DF. p 65.
- Núñez. 2012. Uso de residuos agrícolas para la producción de biocombustibles. (En línea). Consultado, 03 de agos. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.redalyc.org/>
- Ochoa M., y Urrutia, J. 2007. Uso de la gallinaza en la alimentación de rumiantes. (En línea). Consultado, 28 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://biblioteca.inifap.gob>
- OFABA (Asociación de Fabricantes de Alimentos Balanceados). 2008. Estructura de la producción de alimentos balanceados. Industria de alimentos. Balanceados en el Ecuador.
- Ordaz. 2008. Métodos estadísticos y econométricos en la empresa y para finanzas. (En línea). Consultado, 30 de may. 2016. Formato PDF. Disponible en: <https://www.upo.es>
- Orellana, J. 2007. Evaluación de la producción de biogás a partir de la degradación de gallinaza sometida a diferentes relaciones. (En línea). Consultado, 30 de may. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec>
- Orellana, J. 2010. Gremio nacional sus acciones, incidencias de las mismas y la necesidad del fortalecimiento gremial. Quito, EC. p 11-14p.

- Ortiz, A. 2004. Evaluación de desechos de la industria cafetalera y azucarera como camas avícolas en Guantánamo y su aprovechamiento en la alimentación de ovinos Tesis Dr. Ciencias Veterinarias. La Habana Cuba
- Ortega. 2007. El biogás y sus aplicaciones. Documento del proyecto programa especial de energía de la Costa Atlántica GTZ-ICA-CORELCA.
- Osorio, G. 2005. Instituto de Transferencia de Tecnologías. Abonos. (En línea). Consultado, 24 de jun. 2016. Formato digital. Disponible en: <http://www.itacab.org>
- Pascual, A. 2011. Situación y potencial de generación de biogás. Estudios técnicos PER 2011-2010 Madrid. (En línea). Consultado, 30 de may. 2016. Formato PDF Disponible en: <http://www.idae.es>
- Peña. 2007. Temperatura. (En línea). Consultado, 12 de jul. 2016. Formato digital. Disponible en: <https://expediente.ues.edu.sv>
- Pérez. 2012. Valorización de los desechos orgánicos con tecnología apropiada para Republica Dominicana. (En línea). Consultado, 03 de agos. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org>
- Piada, R. 2001. Evaluación de la actividad probiótica de un hidrolizado enzimática de crema de destilería en pollitas ponedoras. Tesis Dr. Ciencias Veterinarias. Instituto de Ciencia Animal. La Habana Cuba. p 56.
- PSE PROBIOGAS. 2007. Desarrollo de sistemas sostenibles de producción y uso de biogás agroindustrial en España. (En línea). Consultado, 19 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: http://213.229.136.11/bases/ainia_probioogas.nsf
- Ramírez. 2012. Propuesta para el diseño de un biodigestor para el aprovechamiento de la materia orgánica generada en los frigoríficos de Bogotá. (En línea). Consultado, 23 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.udistrital.edu>
- Regau, A. 1994. Abonos orgánicos su preparación y empleo. Barcelona, España. 26-28 p
- Rodríguez. 2012. Biodigestores. (En línea). Consultado, 23 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.mag.go.cr>

- Rodríguez, M. 2007. Diseño completamente al azar. (En línea). Consultado, 15 de agos. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.web.facpya.uanl.mx>
- Rodríguez, V. 1999. La problemática de los residuos Ganaderos: el caso de la gallinaza. (En línea). Consultado, 24 de jun. 2016. Formato digital. Disponible en: <http://www.terra.es>
- Rose, G. 1999. Community-Based Technologies for Domestic Waste Water. (En línea). Consultado, 19 de jun. 2016. Formato digital. Disponible en: <http://www.ias.unu.edu>
- Salazar M. y Villares J. 2012. Obtención de biogás y biofertilizante a partir de la fermentación de desechos orgánicos domésticos de la ciudad de Guaranda. (En línea). Consultado, 01 de feb. 2017. Formato PDF. Disponible en: <http://dspace.ueb.edu.ec>
- Samayoa, S. 2012. Implementación de sistemas de biodigestión en ecoempresas. (En línea). Consultado, 31 de may. 2016. Formato digital. Disponible en: <http://www.snvworld.org>
- Sandos. 2003. Fabricación de cacao. (En línea). Consultado, 03 de agos. 2016. Formato PDF. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec>
- Segura. 1998. Termodinámica Técnica, Madrid, AC, pp. 1–45.
- Shavit A. y Gutfinger C. 1995. Thermodynamics. From concepts to applications, London, Prentice Hall, pp. 1–16.
- Schriewer. 2015. Ventajas del biogás. (En línea). Consultado, 19 de jun. 2016. Formato digital. Disponible en: <http://www.schriewer-biogas-consulting.com>
- Silva, J. 2009. Tecnología del biogás. . (En línea). Consultado, 18 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org>
- Soria. 2001. Producción de Biofertilizantes Mediante Biodigestión de Excreta Líquida De Cerdo. Consultado, 23 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.redalyc.org>

- Souza J. y Schaeffer L. 2013. Sistema de compresión de biogás y biometano. Universidad Federal de Rio Grande do Sul, Pos-Graduación en Ingeniería de Minas, Metalúrgica y Materiales, PPGE3M, Centro de Tecnología, Laboratorio de Transformación Mecánica (LdTM), Rua Onofre Pires, 285, AP 403, Bairro Ouro Branco – CEP 93415050 Novo Hamburgo–Brasil
- Tamayo. 2009. Diseño, Construcción y Puesta en Marcha de un Biodigestor a Escala Piloto para la Generación de Biogás y Fertilizante Orgánico. (En línea). Consultado, 23 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec>
- Tavera. 2015. Validación de la cáscara de la fruta del cacao como residuo orgánico potencial en la producción de biogás mediante la biodigestión anaerobia en el municipio de arauquita-arauca. (En línea). Consultado, 03 de agos. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://cteiarauca.org>
- TECNAMED. 2011. Tecnificación Agraria y Medioambiental, S.L. Gallinaza. (En línea). Consultado, 28 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.agromaquinaria.es>
- TECNORED. 2014. El biogás una solución energética más que interesante. (En línea). Consultado, 2 de jul. 2016. Formato digital. Disponible en: <http://www.energiaestrategica.com>
- Tobar M. y Egas V. 2002. SECTOR AVÍCOLA. Superintendencia de Bancos y Seguros del Ecuador, Dirección Nacional de Estudios y Estadísticas, Dirección de investigaciones. (En línea). Consultado, 24 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: www.superban.gov.ec
- Twenergy. 2014. El biogás, la energía renovable con mayor potencial en España y Europa. (En línea). Consultado, 3 de jul. 2016. Formato digital. Disponible en: <http://twenergy.com>
- Vargas. 2014. Análisis exploratorio de investigaciones sobre los motores de combustión interna que trabajan con biogás. (En línea). Consultado, 19 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.scielo.org>
- Villalpando, P. 2008. Diseño completamente aleatorio. (En línea). Consultado, 15 de agos. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.uru.edu>
- Vinasco. 2009. Tecnología del biogás. (En línea). Consultado, 22 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org>

Vinza. 2012. Método de costo de producción. (En línea). Consultado, 25 de agos. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.epistemus.uson.mx>

Wark. 1991. Termodinámica (5ª ed.), México, McGraw-Hill, pp. 1–20.

Williams, C. 2009. Gestión de residuos de aves de corral en los países en desarrollo. (En línea). Consultado, 23 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.fao.org>

Wong, A. 2008. Experimental designs and scientific research. (En línea). Consultado, 15 de agos. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.uaaan.mx>

ANEXOS

ANEXO 1. Recolección de gallinaza y residuos agrícolas



ANEXO 2. Preparación de la mezcla



ANEXO 3. Implementación de biodigestores



ANEXO 4. Toma de temperatura y presión



ANEXO 5. Representación del ANOVA

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
gallinaza	2	0.00002	0.000011	0.001	0.999
Residuals	6	0.11587	0.019311		