

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de

Ingeniero Ambiental

Trabajo experimental:

“VALORACIÓN DE ESTIÉRCOL BOVINO Y PORCINO EN LA PRODUCCIÓN DE
BIOGÁS EN UN BIODIGESTOR DE PRODUCCIÓN POR ETAPAS”.

AUTOR:

Alexander David Durazno Coronel

TUTOR:

Manuel Ernesto Delgado Fernández, PhD

Cuenca, Ecuador

Abril, 2018

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Alexander David Durazno Coronel, con documento de identificación N° 0103942660, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: “VALORACIÓN DE ESTIÉRCOL BOVINO Y PORCINO EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN UN BIODIGESTOR DE PRODUCCIÓN POR ETAPAS”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Ambiental en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, abril del 2018



Alexander David Durazno Coronel

CI: 0103942660

CERTIFICACIÓN

Yo declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “VALORACIÓN DE ESTIÉRCOL BOVINO Y PORCINO EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN UN BIODIGESTOR DE PRODUCCIÓN POR ETAPAS”, realizado por Alexander David Durazno Coronel, obteniendo un trabajo experimental que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, abril del 2018



Manuel Ernesto Delgado Fernández, PhD

CI: 0102073780

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Alexander David Durazno Coronel, con número de cédula 0103942660, autor del trabajo de titulación: “VALORACIÓN DE ESTIÉRCOL BOVINO Y PORCINO EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN UN BIODIGESTOR DE PRODUCCIÓN POR ETAPAS”, certifico que el total contenido de este Trabajo Experimental es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, abril del 2018



Alexander David Durazno Coronel

CI: 0103942660

DEDICATORIA

Para mis padres; sin su apoyo y sacrificio, nada de lo hasta hoy conseguido hubiese sido posible.

¡Gracias por tanto!

RESUMEN

El presente trabajo experimental tuvo como propósito evaluar la producción de biogás a partir de estiércol bovino y porcino en un biodigestor de producción por etapas en el campus “Yumagcay”, Paute-Azuay. Para el desarrollo de la metodología se planteó el diseño de un biodigestor cilíndrico de producción por etapas con volumen de carga de 233 litros. La capacidad de carga del biodigestor fue del 65 % con una mezcla de 151.42 litros con relación 1:1 estiércol-agua. Se estudiaron distintas variables que intervienen en el proceso de digestión anaerobia del estiércol, entre las principales: temperatura ambiente, tiempo de retención, pH, presión y cantidad de biogás generado.

Los resultados obtenidos a partir de un tiempo de retención de 50 días para cada tipo de estiércol determinaron una producción de biogás de 48.8 litros y 65.9 litros tanto para el estiércol bovino como porcino a una temperatura ambiente promedio de 14.27 °C y 14.53 °C y una presión de 12 psi y 15.2 psi en cada proceso. El análisis estadístico de las variables determinó la diferencia estadística entre los grupos de datos referentes a temperatura, presión y biogás generado. El bioabono generado se aplicó al suelo evidenciándose el desarrollo de biomasa vegetal en grandes cantidades, lo que se sería el efecto de su alto valor nutricional de acuerdo con el análisis químico del mismo.

Palabras claves: biodigestor, digestión anaerobia, estiércol, bovino, porcino, biogás.

Contenido

CAPÍTULO I.....	14
1. INTRODUCCIÓN	14
1.1. Antecedentes	14
1.2. Justificación.....	16
1.3. Objetivos	17
1.3.1. Objetivo General	17
1.3.2. Objetivos Específicos.....	17
1.4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	18
1.4.1. Principios para la obtención de biogás	18
1.4.1.1. Materia orgánica.....	18
1.4.1.2. Digestión anaerobia.....	18
1.4.1.3. Etapas de la fermentación anaerobia.	19
1.4.2. Producción de biogás	20
1.4.2.1. Microorganismos anaerobios.	21
1.4.2.1.1. Importancia de los microorganismos metanogénicos.....	21
1.4.3. Valoración energética del biogás	22
1.4.4. Biodigestores	23
1.4.4.1. Clasificación de biodigestores.....	23
1.4.4.1.1. Según su tecnología.	23
1.4.4.1.2. Tipo de proceso.....	24

1.4.4.2. Biodigestor por etapas.....	25
1.4.5. Principales tipos de biodigestores	26
1.4.5.1. Biodigestor de cúpula fija (Tipo Chino).	26
1.4.5.2. Biodigestor tubular (Tipo Taiwán).....	27
1.4.5.3. Laguna anaeróbica.....	28
1.4.6. Productos de la digestión anaerobia	28
1.4.6.1. Biogás.....	28
1.4.6.1.1. Principales características del biogás.....	28
1.4.6.1.2. Factores que influyen en la producción de biogás.	29
1.4.6.1.3. Factores que limitan la producción de biogás.....	32
1.4.6.1.4. Usos del biogás.	33
1.4.6.1.5. Métodos de purificación del biogás.	33
1.4.6.2. Bioabono.	35
1.4.6.2.1. Análisis químico nutricional del bioabono.	36
1.4.6.3. Biol.	37
CAPÍTULO II	38
2. MATERIALES Y MÉTODOS	38
2.1. Delimitación del proyecto	38
2.1.1. Ubicación del proyecto.....	38
2.1.2. Condiciones meteorológicas y geográficas	38
2.1.3. Lugar de ensayo - Granja “Yumagcay”	39

2.2. Materiales	40
2.3. Materia prima	41
2.4. Metodología	41
2.4.1. Procedimiento general.....	41
2.4.2. Diseño de un biodigestor por etapas.	42
2.4.2.1. Cálculo de la capacidad de carga del biodigestor.	44
2.4.3. Recolección de la materia orgánica (estiércol).	46
2.4.3.1. Recolección de estiércol bovino.	46
2.4.3.2. Recolección de estiércol porcino	51
2.4.4. Ubicación del biodigestor.....	55
2.4.5. Carga del biodigestor con materia orgánica (estiércol).....	56
2.4.5.1. Estiércol bovino.	56
2.4.5.2. Estiércol porcino.	57
2.4.6. Digestión de la carga orgánica.	58
2.4.6.1. Factores que intervienen en la digestión anaerobia.	58
2.4.7. Recolección de biogás.....	61
2.4.8. Cuantificación de biogás producido.....	62
2.4.9. Aplicación del bioabono.....	62
CAPÍTULO III.....	64
3. RESULTADOS	64
3.1. Variables de análisis de producción de biogás.....	64

3.1.1. Bovino.....	64
3.1.2. Porcino.....	65
3.2. Producción total de biogás.....	65
3.3. Temperatura ambiente en la producción de biogás.....	67
3.3.1. Bovino.....	68
3.3.2. Porcino.....	69
3.4. Presión en la producción de biogás.....	69
3.4.1. Bovino.....	70
3.4.2. Porcino.....	71
3.5. Análisis estadístico de las variables temperatura, presión y biogás.....	71
3.6. Cuantificación del bioabono producido.....	72
3.6.1. Cuantificación del bioabono bovino.....	72
3.6.1.1. pH del bioabono bovino.....	73
3.6.2. Cuantificación de bioabono porcino.....	73
3.6.2.1. pH del bioabono porcino.....	74
3.7. Análisis químico del bioabono.....	74
3.7.1. Bioabono bovino.....	74
3.7.2. Bioabono porcino.....	76
3.8. CONCLUSIONES.....	76
DISCUSIÓN.....	78
RECOMENDACIONES.....	79

REFERENCIAS	80
ANEXOS.....	84
Tabla 1. Tipos de bacterias.....	19
Tabla 2. Composición del biogás	28
Tabla 3. Microorganismos presentes en la fermentación anaerobia	29
Tabla 4. Condiciones meteorológicas: Paute, Azuay	38
Tabla 5. Lista de herramientas	40
Tabla 6. Materia prima en digestión anaerobia	41
Tabla 7. Dimensiones del biodigestor	44
Tabla 8. Capacidad de carga del biodigestor.....	46
Tabla 9. Composición de estiércol bovino y porcino.....	48
Tabla 10. Producción de estiércol porcino	51
Tabla 11. Volumen de carga del biodigestor con estiércol bovino	56
Tabla 12. Porcentaje de carga del biodigestor con estiércol bovino	57
Tabla 13. Volumen de carga del biodigestor con estiercol porcino.	57
Tabla 14. Porcentaje de carga del biodigestor.....	58
Tabla 15. Tiempo de retención de carga bovina.	59
Tabla 16. Tiempo de retención para carga porcina	59
Tabla 17. Variables en la producción de biogás bovino	64
Tabla 18. Variables en la producción de biogás porcino.	65

Tabla 19. Variables en la producción total de biogás bovino	66
Tabla 20. Variables en la producción total de biogás porcino	66
Tabla 21. Temperatura y humedad ambiente en la producción de biogás bovino	69
Tabla 22. Temperatura y humedad ambiente en la producción de biogás porcino	69
Tabla 23. Presión de biogás bovino	71
Tabla 24. Presión de biogás porcino	71
Tabla 25. Análisis estadístico de variables con t student.	72
Tabla 26. Volumen de bioabono bovino	73
Tabla 27. Valor de pH del bioabono bovino	73
Tabla 28. Volumen de bioabono porcino	73
Tabla 29. Valor de pH del bioabono porcino	74
Tabla 30. Análisis químico del bioabono bovino.....	74
Tabla 31. Análisis químico de bioabono porcino.....	76
Figura 1. Clasificación de biodigestores anaerobios de acuerdo con su tecnología	24
Figura 2. Clasificación de biodigestores anaerobios de acuerdo con su proceso	24
Figura 3. Digestores de cúpula fija	26
Figura 4. Biodigestor tubular	27
Figura 5. Trampa de agua	34
Figura 6. Mapa de ubicación Granja “Yumagcay”	39
Figura 7. Diseño y dimensiones del biodigestor	42

Figura 8. Tapón de hierro.....	43
Figura 9. Válvula de paso de gas	43
Figura 10. Manómetro de 60 psi	44
Figura 11. Establo de ganado bovino en granja “Yumagcay”	46
Figura 12. Estiércol bovino.....	47
Figura 13. Papel indicador de pH con estiércol bovino	47
Figura 14. Estiércol porcino	51
Figura 15. Papel indicador de pH con estiércol porcino.	52
Figura 16. Granja “Yumagcay”	55
Figura 17. Biodigestor cilíndrico de hierro	55
Figura 18. Carga del biodigestor con estiércol bovino	56
Figura 19. Termihigrómetro.....	60
Figura 20. Aplicación Accuweather.....	60
Figura 21. Recolección de biogás.	61
Figura 22. Cuantificación de biogás mediante diferencia de volumen	62
Figura 23. Medición de pH en bioabono bovino y porcino.	63
Figura 24. Porcentaje de la producción total de biogás.	66
Figura 25. Producción total de biogás con estiércol bovino y porcino.	67
Figura 26. Temperatura ambiente en la producción de biogás.	68
Figura 27. Presión en la producción de biogás	70
Figura 28. Resultados de análisis químico a bioabono bovino	75

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El auge en la demanda del consumo energético en todo el planeta y la dependencia de fuentes de energía no renovable, así como los problemas ambientales asociados nos exigen la búsqueda de nuevas tecnologías y fuentes energéticas (Barragán & Cordero, 2017). La utilización de tecnologías para la obtención de biogás con fines energéticos se remonta a siglos pasados. En algunos lugares del planeta se emplea como una herramienta contra la lucha de la problemática ambiental existente en la actualidad, la tecnología del biogás contribuye a la generación de ingresos económicos y ahorro de costes de producción (Arthur, Francisca, & Antwi, 2011). No obstante la producción de biogás en países en vías de desarrollo es un proceso complejo debido a que generalmente se presentan adversidades económicas, sociales, políticas, técnicas y ambientales (Ni J. Q., 1993) (Steyer, Bernard, Batstone, & Angelidaki, 2006).

A nivel global la producción de biogás presenta resultados positivos en regiones agrícolas de bajos ingresos. En países como China y la India se han instalado alrededor de 6 a 8 millones de digestores de tamaño familiar para la producción de biogás, principalmente para su uso como gas de cocina o iluminación (Ni J. Q., 1996). En algunos países africanos se centra en la reducción de la pobreza energética, como por ejemplo: Kenia y Uganda (Mart et al., 2014). La generación de biogás se incrementó en las regiones que aprovechan el estiércol animal como una de las fuentes principales de sustrato de carga para los biodigestores, entre ellos destacan: a) los de pequeña y mediana capacidad, con una producción de biogás promedio de 100 m³/día y b) los de gran capacidad, con una

producción de biogás cercana a los 500 m³/día (Batzias, Sidiras, & Spyrou, 2005) (Ferrer, 2009) (Flores R. M.-L., 2008).

En Latinoamérica se ha impulsado la construcción de biodigestores en países como: Colombia, Perú, Bolivia, México, Costa Rica y Nicaragua, consiguiendo resultados efectivos en materia económica, energética y ambiental, al igual que Europa, donde se ha incrementado la producción anual de biogás en niveles significativos con el propósito de producir energía eléctrica y calorífica (Steyer et al., 2006). En varios países europeos se han construido un número considerable de plantas centralizadas de biogás a gran escala, usando principalmente mezclas de estiércol con residuos orgánicos industriales; y por medio de análisis financieros se ha determinado la factibilidad económica de estas plantas, por ejemplo: Alemania produjo en el año 2007 más de 1.144 millones m³ de biogás, Inglaterra 463 millones m³, Dinamarca 387 millones m³ y siguen Italia, Francia, Grecia, Austria, Bélgica (Filomeno, 2010).

Con relación al Ecuador, al ser un país con gran potencial agrícola y ganadero, se puede obtener una gran cantidad de desechos (biomasa) que se pueden destinar a la generación de energías alternativas. Sin embargo, el uso del biogás para la generación de energía eléctrica no es una tecnología muy común en nuestro país (Cristanto, 2013). Existen estudios realizados en las provincias de Azuay y Pichincha que reportan el uso de desechos provenientes de actividades agrícolas y urbanas como fuente de materia prima para la obtención de biogás y su posterior utilización en la producción de energía eléctrica. En un estudio llevado a cabo en el relleno sanitario Minas de Huaschaca, en el cantón Santa Isabel, Azuay; se proyecta la generación de electricidad mediante la obtención de 40 m³/h de biogás a partir de 7300 toneladas de desechos urbanos recibidos durante el año 2014. Hasta el año 2023 se plantea la adaptación de un generador de 642 kW que contribuiría con la red eléctrica local (Vidal & Lalvay, 2013). Otro ejemplo es el diseño, construcción y

operación de una planta de producción de biogás y biofertilizante a partir del tratamiento de una tonelada/día de desecho de fruta, el mismo que es capaz de producir 24 m³ de biogás/día y 3145 kg de biol/día. El biogás producido en la planta es reutilizado en sus procesos generando ahorro en costes energéticos del 6%. El análisis económico determina que al cabo de tres años, la inversión del proyecto llega al punto de equilibrio y las ganancias empiezan a partir de los seis años (Chiriboga, 2010). En un estudio realizado en la ciudad de Cuenca en el año 2016, en el relleno sanitario Pichacay, se estimó la generación de electricidad producida en la planta de aprovechamiento de biogás, utilizando el metano contenido en la materia orgánica de los desechos urbanos como combustible para generar movimiento mecánico que posteriormente se convierte en energía eléctrica. Los resultados del estudio sostienen que la energía eléctrica producida por la planta de biogás equivale entre 1 % y 2.5 % de la energía total generada por la urbe y puede dotar de electricidad a cerca de 8000 familias (Barragán, Arias, & Terrados, 2016).

1.2. Justificación

Los principales problemas ambientales en la actualidad están relacionados con los impactos negativos generados a través de actividades agrícolas y ganaderas (Cristanto, 2013). El sector ganadero es uno de los principales sectores productivos del Ecuador, esta actividad genera una alta cantidad de desechos que no cuentan con un manejo o disposición final adecuado, afectando los recursos naturales como: agua, suelo y aire (Toala, 2013).

El uso de recursos no renovables para la producción de energía es un eje fundamental para el desarrollo tanto económico como productivo de todas las naciones del planeta. En efecto, la búsqueda de estas fuentes de energía ha sobreexplotado los recursos naturales provocando un impacto negativo a nivel global en los ecosistemas. Para remediar esta problemática global es conveniente el impulso de la utilización de fuentes de energía alternativas, las cuales marcan un camino hacia la disminución de combustibles fósiles y

materias primas tradicionales para la obtención de energía; además de reducir la contaminación e incentivar el uso de fuentes renovables, lo que beneficia y es un aporte para el desarrollo sustentable de las naciones (Arce, 2011).

El empleo de biodigestores para la producción de biogás con fines energéticos se ha convertido en una tecnología con mayor acogida debido a los beneficios económicos y ambientales que conlleva su uso, al mismo tiempo que se convierte en una tecnología alternativa rentable en zonas agrícolas debido a la gran cantidad de materia prima disponible a través de estas actividades (Narvaez & Saltos, 2007). También se destaca el uso del biogás en quemadores para la cocción de alimentos, generando una reducción en la tala de bosques y la disminución de enfermedades respiratorias debido a la eliminación de emisiones de partículas por la utilización de leña en sistemas de combustión artesanales (Severiche & Acevedo, 2013).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Evaluar la producción de biogás a partir de estiércol bovino y porcino en un biodigestor de producción por etapas, en el campus “Yumagcay”, Paute.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Diseñar un biodigestor de producción de biogás por etapas.
- Aprovechar los residuos sólidos y líquidos de animales estabulados en la granja.
- Definir y analizar las variables, tiempo de retención, temperatura, pH y presión en la producción de biogás.
- Cuantificar la cantidad de biogás producido en las condiciones del lugar de ensayo.
- Determinar mediante análisis químico la riqueza nutricional del bioabono o efluente.

1.4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.4.1. Principios para la obtención de biogás

1.4.1.1. Materia orgánica.

El biogás se produce a partir de la digestión anaerobia de materia orgánica, en su mayoría de origen agrícola o ganadero. Por otra parte, existe la necesidad de un correcto manejo y aprovechamiento energético de estos desechos debido a que el sector de la industria ganadera es la responsable del 18 % de las emisiones de gases de invernadero medidas en CO₂ equivalente, además del 37 % de metano, 65 % de óxido nitroso y 64 % de emisiones de amoníaco (Holm-nielsen et al., 2009).

1.4.1.2. Digestión anaerobia.

Es el proceso de transformación de materia orgánica a través de digestores mediante la acción de bacterias mesófilas y termófilas que viven en condiciones anaerobias, pudiendo utilizarse el estiércol proveniente de ganado como materia prima. Además se ha demostrado el potencial de producción de biogás como fuente de energía *in situ* (Safley & Westerman, 1994) (El-Mashad, 2010). En la tabla se indican varios tipos de bacterias que participan en la digestión anaerobia.

Tabla 1. Tipos de bacterias

Bacterias
<i>Bacteroides</i>
<i>Clostridium</i>
<i>Clostridiumaceticum</i>
<i>Metanobacterium schngen</i>
<i>Metano cocus</i>
<i>Metanobacilus onelianski</i>
<i>Metano Sarcina</i>
<i>Clostridium buctiricum</i>

Elaboración: Autor

El rendimiento de un sistema de digestión anaeróbico está ligado a la estructura de la comunidad microbiana presente en el digestor (Chika & Yingnan, 2005). Muchos factores afectan el diseño y funcionamiento de los procesos de digestión anaerobia, algunos de ellos están relacionados con las características de la materia prima, diseño del reactor, condiciones de operación y parámetros ambientales (Chika & Yingnan, 2005). Las características físicas y químicas de los residuos orgánicos son aspectos importantes que considerar durante el diseño y operación de digestores anaerobios puesto que afectan la producción de biogás y su proceso de estabilidad durante la digestión anaerobia (Zhang, 2007).

1.4.1.3. Etapas de la fermentación anaerobia.

Es un proceso complejo en el cual intervienen un gran número de microorganismos con el fin de producir sustancias orgánicas como: ácido láctico ($C_3H_6O_3$), ácido propiónico ($C_3H_6O_2$), ácido acético (CH_3COOH), butanol ($C_4H_{10}O$), etanol (C_2H_6O) y acetona (C_3H_6O) (Varnero Moreno, 2011).

El proceso de conversión biológica anaerobia de la materia orgánica se produce en tres etapas. La primera etapa se conoce como hidrólisis y la llevan a cabo microorganismos

anaerobios estrictos como *Bacteroides*, *Clostridium* y facultativos como los *Streptococcus*. En esta etapa se da la transformación enzimática de materia orgánica insoluble y compuestos de mayor masa molecular (lípidos, polisacáridos, proteínas, grasas) en materiales orgánicos solubles (monosacáridos, aminoácidos, azúcares) adecuados para la asimilación de los microorganismos como fuente de energía y carbono (Sreekrishnan, Kohli, & Rana, 2004). La segunda etapa es conocida como acidogénesis, en este proceso un grupo de microorganismos fermenta los productos de la descomposición a ácido acético (CH_3COOH), hidrógeno (H_2), dióxido de carbono (CO_2) y otros ácidos orgánicos volátiles de menor peso como el ácido propiónico ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$) y ácido butírico ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$) (Youngfu, 1989). En la tercera etapa llamada metanogénesis, el ácido acético (CH_3COOH), hidrógeno (H_2) y dióxido de carbono (CO_2) se convierten en una mezcla de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) por la acción de bacterias metanogénicas como *Methanosarcina spp*, *Methanothrix spp*, *Methanobacterium*, *Methanococcus* (Sreekrishnan, Kohli, & Rana, 2004).

La duración del periodo de fermentación depende de la temperatura, además del rango de temperatura óptimo para el crecimiento de microorganismo metanógenos y la producción de metano que oscila entre los 25 °C y 30 °C (Wang, Li, & Yu, 2012). Se ha observado que los organismos metanógenos suelen ser muy sensibles a los cambios bruscos de temperatura (Sreekrishnan, Yadvika, Kohli, & Rana, 2004).

1.4.2. Producción de biogás

La producción de biogás es un proceso natural que ocurre en un entorno anaerobio, es decir, carente de oxígeno y depende principalmente de variables como: pH, temperatura, tiempo de retención, relación C/N (Sreekrishnan et al., 2004). Se genera a partir de materiales orgánicos y es llevado a cabo en condiciones anaerobias por microorganismos, generalmente bacterias de las especies *Clostridium*, *Ruminococcus*, *Eubacterium* y

Bacterioide. Como materia prima de este proceso se puede aprovechar las excretas de aves de corral, estiércol de cerdo, estiércol de vaca, residuos de cocina, hierba y materia orgánica en general (Arthur et al., 2011).

El proceso de producción de biogás se desarrolla en un recipiente denominado digester, en cual ocurre el proceso de fermentación anaerobia, mientras que la captación del biogás se produce mediante una campana (en la mayoría de los casos), desde la cual se extrae el gas a través de una conducción por tubería o manguera (Hernandez, 2014). Adicionalmente, la producción de biogás dentro del biodigestor depende de factores de control, por ejemplo: temperatura del proceso, presión generada por el gas, contenido de agua, pH de la mezcla y aditivos como sustratos pre-digeridos (Lozano, 2015).

1.4.2.1. Microorganismos anaerobios.

El rendimiento de un sistema de digestión anaeróbico está ligado a la estructura de la comunidad microbiana presente en el biodigestor (Rivas, Margie, & Rossy, 2010). Ciertas cepas de bacterias termófilas y metanogénicas como *Methanospirillum hungatii* y *Methanosarcina*, tienen la capacidad de aumentar la producción de gas mediante la estimulación de la actividad enzimática, también determinadas cepas de bacterias como actinomicetos mejoran la producción de biogás en un rango de 8.4 a 44 % de estiércol de ganado (Sreekrishnan, Kohli, & Rana, 2004). De igual manera, la digestión de más de un sustrato orgánico en el mismo digester puede establecer sinergias positivas y los nutrientes agregados pueden apoyar el crecimiento microbiano (El-Mashad, 2010).

1.4.2.1.1. Importancia de los microorganismos metanogénicos.

Durante la etapa de fermentación de materia orgánica, los microorganismos metanógenos acetotróficos del género *Acetokaterium* (*Acetokaterium woodi* y *Acetokaterium paludosum*) convierten el acetato del biogás en metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), por lo tanto,

su actividad y funcionamiento es de vital importancia en la conversión anaeróbica del acetato. Por otra parte, con la finalidad de incrementar la productividad del biogás en los biodigestores, es posible inocularlos con fuentes conocidas de microorganismos metanógenos como el estiércol de vaca, lo cual representa una alternativa eficiente y de bajo costo (Demirel & Scherer, 2008).

1.4.3. Valoración energética del biogás

De acuerdo con un estudio de valoración energética desarrollado en Grecia, se calculó la cantidad de biogás producido a partir de excretas de vacas, cerdos, ovejas, cabras, aves de corral, conejos y caballos. Los resultados indicaron que los desechos orgánicos de animales que representan un mayor potencial en la producción de biogás son: los porcinos (34,4 %), ovejas/cabras (33,4 %), aves de corral (16,8 %) y bovinos (15 %), mientras que las cantidades de biogás de conejos y caballos son insignificantes (Batzias, Sidiras, & Spyrou, 2005).

En Bolivia se compararon resultados de la digestión anaerobia entre estiércol bovino y de llama y su mezcla considerando factores como: temperatura, presión y pH. Las conclusiones del estudio detallan que el estiércol bovino puede utilizarse como materia prima para producir biogás mediante un proceso de digestión anaerobia al igual que la combinación de los dos tipos de estiércol utilizados (bovino y llama). Además, se determinó que el proceso de codigestión entre el estiércol de vaca y llama aportó 44 % más metano y la adición de NaOH en la mezcla aumentó la alcalinidad del sustrato y contribuyó al incremento de metano en un 32 %. Por lo tanto, se concluye que técnicamente es factible producir biogás a partir de la digestión anaeróbica de estiércol de llama y vaca en ciudades situadas a una elevada altura con respecto al nivel del mar y baja presión (Li et al., 2009). La producción de metano y la producción diaria de biogás es altamente dependiente de la temperatura, pero el tiempo de retención (TR) y el tipo de carga orgánica también son

factores significativos. Por último, una baja presión atmosférica (495 mm Hg) no afecta la producción de biogás (Villca & Lide, 2006).

De acuerdo con un estudio se analiza el rendimiento de las mezclas de co-substratos de estiércol en digestores de 9.5 m³. Se plantea la mezcla de materia vegetal (20 %) y de estiércol (80 %) obteniendo como resultado el incremento en un 86 % de la producción de metano comparado con digestores que solamente fueron alimentados con estiércol y bajo las mismas condiciones de operación (Massi, 2010). Debido a que el flujo de excretas es constante a lo largo del año, es una fuente de energía predecible y no aleatoria como el viento o el sol (Martínez Lozano, 2015).

1.4.4. Biodigestores

Se considera un biodigestor como un tanque cerrado en el cual se lleva a cabo un proceso de fermentación anaerobia de materia orgánica, por ejemplo: desechos agrícolas, agroindustriales y forestales, aguas residuales urbanas e industriales, residuos sólidos urbanos y el estiércol de animales para su posterior uso en la producción de biogás. Los componentes básicos de un biodigestor lo conforman: área de premezclado, digestor, sistema de captación de biogás y de distribución del efluente (Hossain & Islam, 2008).

1.4.4.1. Clasificación de biodigestores.

1.4.4.1.1. Según su tecnología.

De acuerdo con la Figura 1, se determina la clasificación de los biodigestores de acuerdo con su tecnología; primera, segunda y tercera generación. En la primera generación, el proceso de digestión y la materia orgánica se encuentran en suspensión. En la segunda generación los microorganismos son retenidos en el reactor o por las propiedades de sedimentación que posee, al igual que la tercera generación, donde los microorganismos se encuentran en forma de biopelícula (De La Merced Jimenez, 2012).

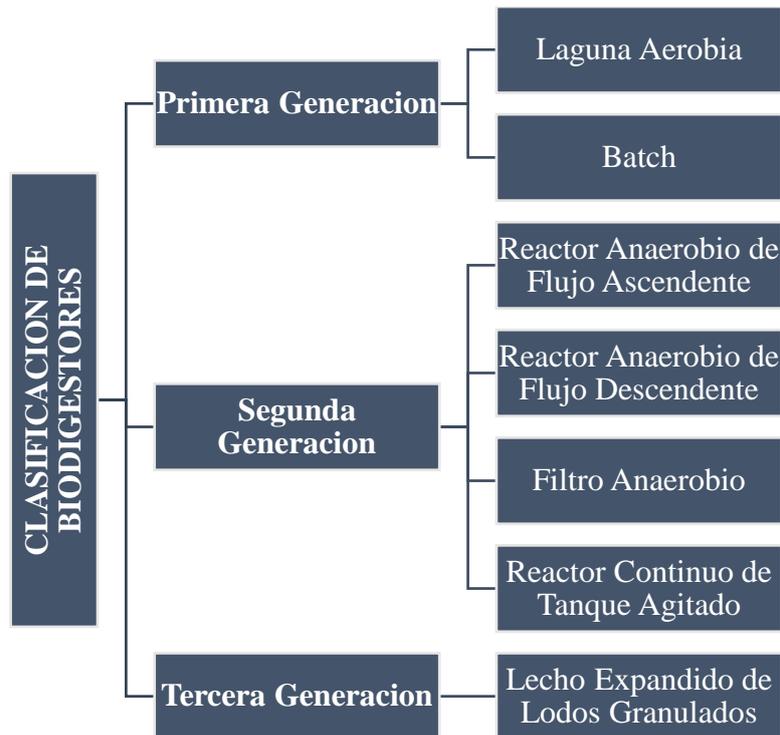


Figura 1. Clasificación de biodigestores anaerobios de acuerdo con su tecnología

Fuente: (De La Merced Jimenez, 2012)

1.4.4.1.2. Tipo de proceso.

Según el proceso los biodigestores se clasifican en continuos, semicontinuos y discontinuos. En la Figura 2. Clasificación de biodigestores anaerobios de acuerdo con su proceso, se indica la clasificación de los biodigestores anaerobios.

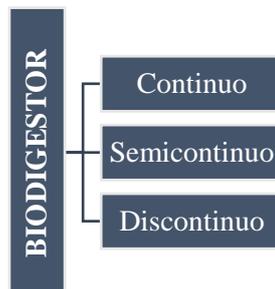


Figura 2. Clasificación de biodigestores anaerobios de acuerdo con su proceso

Fuente: (De La Merced Jimenez, 2012)

Los biodigestores de proceso continuo cuentan con un biodigestor y un tanque de postdigestión (TPD) en el cual se depositan los lodos residuales puesto que cuando se adiciona la carga orgánica al biodigestor saldrá la misma cantidad de lodo en el TPD, por lo que el nivel en el biodigestor se mantiene constante. Generalmente, el TPD se encuentra sellado para captar el biogás que se pueda producir en él; este proceso es adecuado para zonas ganaderas. En los procesos discontinuos el biodigestor se carga con estiércol y co-sustratos, se sella y comienza el proceso de digestión. La producción de biogás se va incrementando con el tiempo hasta que alcanza un punto máximo, entonces se vacía el digestor para volver a ingresar nueva materia prima y se repite la operación. En los procesos semi-continuos el estiércol digerido es almacenado en el biodigestor y la principal desventaja del proceso se debe a que los lodos no se digieren completamente provocando un bajo rendimiento en la obtención de biogás comparado con los dos procesos antes mencionados (De La Merced Jimenez, 2012).

1.4.4.2. Biodigestor por etapas.

La carga de estos biodigestores se realiza periódicamente, la materia orgánica introducida es digerida y al final del proceso la materia orgánica y gran parte del lixiviado es removido para permitir el ingreso de una nueva carga del material (Cendales, 2011). Transcurrido un tiempo del proceso de fermentación, cuando el contenido de la carga orgánica disminuye al igual que la producción de biogás, se vacían por completo los digestores y se alimentan de nuevo, dando inicio a un nuevo proceso de fermentación (Varnero Moreno, 2011).

Este sistema funciona por ciclos y no en flujo continuo, donde cada ciclo de operación se divide en cuatro etapas:

a) Alimentación: El afluente es incorporado al reactor

- b) **Reacción:** Etapa de tiempo en la cual ocurre la degradación de la materia orgánica.
- c) **Sedimentación:** Se detiene la agitación y la biomasa decanta.
- d) **Descarga:** El efluente digerido es retirado del reactor.

1.4.5. Principales tipos de biodigestores

1.4.5.1. Biodigestor de cúpula fija (Tipo Chino).

La forma del biodigestor de cúpula fija se asemeja a una esfera y el gas se almacena dentro de la campana fija (2) a presión variable. El tipo de carga del digestor (3) es semicontinua y se la realiza en el tanque de mezcla (1); se debe realizar una primera carga con el sustrato orgánico hasta un 70% de la capacidad del tanque, luego se procede con la carga similar a un digestor continuo. La presión del gas aumenta con el volumen de gas almacenado y la diferencia de altura entre el nivel de suspensión en el digestor y el nivel de suspensión en el tanque de compensación (4). A los 120-180 días se descarga en forma total y se reinicia el ciclo. Los materiales de construcción son bloques y/o ladrillos, cemento y acero (Savran, Piñón, & Palacios, 2012) (Arthur et al., 2011).

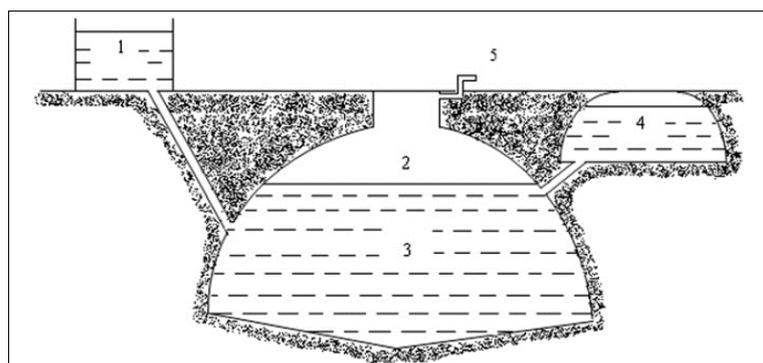


Figura 3. Digestores de cúpula fija

Fuente: (Arthur et al., 2011)

1.4.5.2. Biodigestor tubular (Tipo Taiwán).

El biodigestor tubular plástico consiste en una especie de bolsa elongada de polietileno con una relación longitud-ancho de aproximadamente 5:1, dicha bolsa se coloca en una fosa o trinchera. Este biodigestor posee una vida útil de 5 años (menos de un 25% de la vida el biodigestor de cúpula fija) (Savran et al., 2012).

La implementación de biodigestores tubulares ha surgido como una alternativa para la producción de biogás a bajo costo en zonas rurales. Una ventaja de los biodigestores tubulares radica en su baja inversión de construcción, además no se requiere un amplio conocimiento y gastos económicos considerables para su operación y mantenimiento. El uso de los biodigestores plásticos se ha extendido rápidamente en muchos países tropicales sobre todo a nivel experimental, razón por la cual se debe hacer un mayor hacer énfasis en la integración de biodigestores tubulares en los sistemas de producción agrícola debido a las ventajas de los subproductos (biogás y fertilizantes) que se obtienen mediante esta tecnología (Domínguez, 2007).

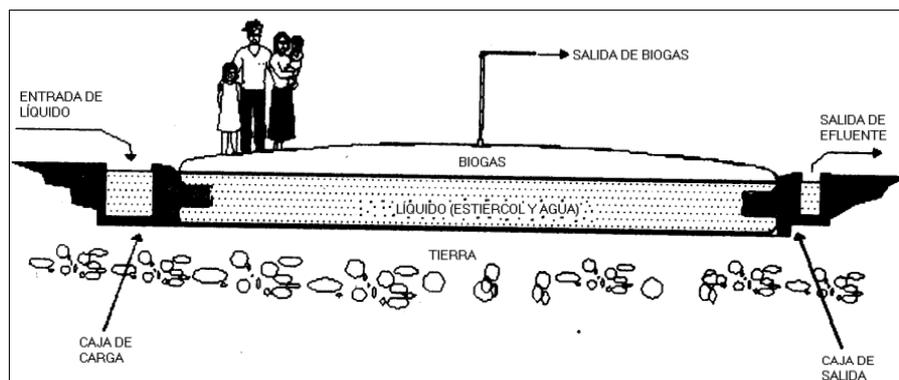


Figura 4. Biodigestor tubular

Fuente: (Jesús et al., 2001)

1.4.5.3. Laguna anaeróbica.

La laguna anaeróbica cubierta con polietileno de alta densidad (PAD) es una tecnología desarrollada para grandes volúmenes de residuos, además representa bajos costos de construcción y operación. Esta laguna resuelve las limitaciones de las lagunas anaeróbicas descubiertas, las cuales emiten metano a la atmósfera y olores desagradables e impiden recuperar el biogás. Su fondo y paredes pueden ser de arcilla impermeable, bloques, ladrillos u hormigón armado, mientras que la cubierta de PAD flota en la superficie de la laguna y es resistente a los rayos ultravioletas (Savran et al., 2012).

1.4.6. Productos de la digestión anaerobia

1.4.6.1. Biogás.

1.4.6.1.1. Principales características del biogás.

El biogás que se produce naturalmente por la fermentación de la materia orgánica tiene un alto valor energético que permite producir CH₄ (Truong & Abatzoglou, 2003). La composición del biogás se indica en la **Tabla 2**. Composición del biogás

Tabla 2. Composición del biogás

Componentes	Formula Química	Porcentaje
Metano	CH ₄	55-80
Dióxido de carbono	CO ₂	20 -45
Hidrogeno	H ₂	1
Nitrógeno	N ₂	0,5
Monóxido de carbono	CO	0,1
Oxigeno	O ₂	0,1
Ácido sulfhídrico	H ₂ S	0,1
Agua	H ₂ O	0,05

Fuente: (Savran et al., 2012)

El biogás “crudo” contiene trazas de contaminantes no deseados como H₂S, N₂, NH₃, siloxanos e hidrocarburos halogenados y aromáticos. La combustión de estos contaminantes produce SO_x y NO_x, conocidos por su efecto negativo tanto al ambiente como a la salud humana (Truong & Abatzoglou, 2003).

1.4.6.1.2. Factores que influyen en la producción de biogás.

Estudios realizados determinaron que los factores de principal influencia en el proceso de producción de biogás son: temperatura, pH, relación C:N, tiempo de retención de la carga orgánica y el tratamiento previo que se dé a esta (Sreekrishnan et al., 2004).

Temperatura. Como se indica en la **Tabla 3**. Microorganismos presentes en la fermentación anaerobia, existen ciertos rangos de temperaturas al interior del digestor dentro de los cuales la fermentación anaerobia puede llevarse a cabo por microorganismos. Sin embargo, los microorganismos anaerobios son más activos en la gama de temperaturas termófilas (50-60 °C) y mesófilas (30-40 °C) en comparación con los microorganismos psicrófilos (< 30 °C) (Sreekrishnan et al., 2004).

Tabla 3. Microorganismos presentes en la fermentación anaerobia

Microorganismos	Temperatura
Psicrófilos	< 30 °C
Mesófilos	30 – 40 °C
Termófilos	50-60 °C

Fuente: (Sreekrishnan et al., 2004)

La temperatura de 38,5 °C se considera óptima para las bacterias debido a que las condiciones del rumen en animales es de 38.5 °C (Widiasa & Johari, 2010).

En un trabajo experimental realizado en Bolivia en el año 2006, se analizaron cuatro diferentes factores para la producción de biogás a partir de estiércol de vaca y llama: presión, temperatura y tiempo de retención de sólidos de carga (porcentaje de estiércol en la mezcla).

Basado en el diseño del digestor se demostró que la temperatura, el tiempo de retención y los sólidos de carga (% de estiércol húmedo) fueron factores trascendentales con respecto a la productividad de biogás y metano en el proceso de digestión anaerobia. Además, la temperatura fue encontrada como el factor principal y su aumento de 11 °C a 35 °C derivó en una mayor productividad de biogás (4 y 5 veces para la vaca y llama, respectivamente). El efecto de la temperatura sobre la producción de biogás ha sido reportado por varios investigadores como determinante en el proceso digestivo anaerobio (Villca & Lide, 2006).

Potencial Hidrogeno (pH). Es un parámetro que afecta directamente el crecimiento de los microorganismos durante la fermentación. Un nivel de pH 7 indica que el sustrato tiene una concentración neutra, además en su fase inicial (ácida) presenta niveles de pH menores a 6 y a medida que aumenta la producción de biogás este se va elevando hasta valores que oscilan un rango de 7. Un pH ácido del sustrato promueve la inhibición en la actividad de las bacterias metanogénicas, también hay un aumento en la cantidad de gas carbónico en el biogás. Por encima de un valor de pH 5.0, la eficiencia de producción de CH₄ es de más del 75 % (Bermúdez & Díaz, 2010).

Relación Carbono–Nitrógeno (C:N). Generalmente las bacterias metanogénicas utilizan el carbono y nitrógeno para su proliferación y para la producción de metano. Durante la digestión anaerobia los microorganismos utilizan el carbono entre 25 a 30 veces más rápido que el nitrógeno por lo que necesitan una fracción de carbono y nitrógeno en un rango de 20:1 y 30:1 debido a que en una relación aproximada de 10:1 se da una pérdida de nitrógeno, mientras que en una relación superior a 40:1 se inhibe el crecimiento de las bacterias por falta de oxígeno. En el estiércol está presente el nitrógeno amoniacal y el nitrógeno orgánico; el primero tiene mayor disponibilidad para las bacterias anaeróbicas que el segundo. El estiércol de cerdo cuenta con un valor aproximado de 75 % de nitrógeno amoniacal y 25 % de nitrógeno orgánico (Flores J. , 2010).

Cantidad de carga orgánica. La tasa de producción de biogás es altamente dependiente de la cantidad de carga que contenga el biodigestor. En un estudio llevado a cabo en Pennsylvania en una planta de biogás con una generación de 100 m³/día que usaba estiércol como materia prima, se evidenció que cuando la carga orgánica varió de 346 Kg/día a 1030 Kg/día, la producción de gas aumentó de 67 a 202 m³/día. Además, con una carga orgánica diaria de 16 kg, se obtendría como resultado una generación de 0.04-0.074 m³ de biogás (Sreekrishnan et al., 2004).

Agitación. Este parámetro tiene como función mezclar el sustrato y la población bacteriana, evitar la formación de costras y contribuir a la actividad biológica mediante la recirculación de la materia orgánica que sirve como fuente energética a los microorganismos dentro del digestor, además de remover los metabolitos producidos por las bacterias metanógenas (Narvaez & Saltos, 2007).

Presión. La presión en el proceso de digestión anaerobio es la variable utilizada para caracterizar el comportamiento dinámico de la producción de biogás, a medida que avanza el proceso de digestión de la materia orgánica, se va incrementando la cantidad de gas ocupa el espacio vacío dentro del biodigestor (Bermúdez & Díaz, 2010)

Tiempo de retención. Es el tiempo que requieren los microorganismos para degradar toda la materia orgánica y generar los productos de dicho proceso. El tiempo de retención depende exclusivamente de la temperatura del lugar en el cual se vaya a implementar el biodigestor. Por tanto, a menores temperaturas se requiere un mayor tiempo de retención para generar los productos de la digestión (Toala, 2013). Se ha registrado que a un menor tiempo de retención se produce una mayor cantidad de biogás pero con un efluente de baja calidad como bioabono debido a que no existió un tiempo prudencial de digestión, mientras que para periodos extendidos de retención se obtiene un rendimiento bajo de biogás, pero

con un efluente más degradado y con excelente calidad de nutrientes (Soria-Fregoso et al., 2001).

La digestión anaerobia del estiércol de vacas y cerdos puede realizarse correctamente en el rango de temperaturas de 10 °C a 23 °C debido a que en este rango de temperatura la producción de metano aumenta linealmente durante un periodo de 30 días que alcanza su pico máximo de producción (Safley & Westerman, 1994).

Tratamiento previo de la muestra. La materia orgánica que contendrá el digestor en ocasiones requiere de un tratamiento previo para aumentar la producción de metano en el proceso de digestión anaerobia. El proceso de pretratamiento descompone la estructura orgánica compleja en moléculas más simples que luego son más susceptibles a la degradación microbiana.

1.4.6.1.3. Factores que limitan la producción de biogás.

Durante una investigación desarrollada en época invernal se evidencia la disminución en la generación de gas durante dicha temporada, planteando un grave problema en la aplicación práctica de esta tecnología. Todo esto ha derivado en la divulgación restringida de esta tecnología en áreas rurales (Sreekrishnan, Kohli, & Rana, 2004).

Otros factores determinantes son los costos económicos y la vida útil del digestor. En un estudio realizado en Bolivia, se indica que un digestor de cúpula fija de 6 m³ de volumen tiene un costo USD \$1004 y uno de 11.3 m³ en su equivalente de tipo tubular costaría USD \$503, incluyendo la mano de obra en los dos casos y un invernadero de protección en el segundo. Sin embargo, el digestor de cúpula fija tiene una vida útil de 20 años y el plástico tubular de 5 años (Martí-Herrero, 2014).

1.4.6.1.4. Usos del biogás.

La digestión anaeróbica de estiércol animal tiene como objetivo general convertir residuos orgánicos en dos categorías de productos de valor: la primera es el biogás, un combustible renovable comúnmente utilizado para producir electricidad o calor. Su aprovechamiento consiste en el acoplamiento a un sistema de generación de motor Diesel o motor Stirling para aplicaciones a pequeña escala de hasta 50 kW, microturbinas para la generación eléctrica por lo general por debajo de 200 kW y también para la producción de biocombustibles para vehículos y generación de bio-metano para la inyección en redes de gas natural (McPhail, 2012).

La segunda categoría se basa en la transformación de residuos orgánicos en fertilizante de alta calidad, lo que requiere una mejora en las condiciones sanitarias a través de la reducción de patógenos, reducción de trabajo para la recolección de leña para cocina y ventajas medioambientales a través de la protección del suelo, agua, aire y vegetación leñosa (Villca & Lide, 2006). Igualmente, el biogás producido en procesos de digestión anaerobia puede tener diferentes usos, por ejemplo: en una caldera para generación de calor o electricidad, en motores o turbinas para generar eléctrica y el uso del biogás en granjas de ganado bovino y porcino de gran tamaño para la gestión de residuos debido al impacto negativo que generan los purines. En este caso se puede proponer el diseño de una planta de digestión anaerobia de producción de biogás como auto abastecimiento energético según las necesidades del establecimiento (Toala, 2014).

1.4.6.1.5. Métodos de purificación del biogás.

Bacterias sulfato reductoras crecen en el biodigestor y usan ácido acético o ácido propiónico para producir H_2S , este proceso ocurre en simultaneo con la producción de metano. La generación de H_2S conlleva serios problemas de olores y toxicidad para la salud humana; adicionalmente, el sulfuro de hidrogeno es conocido por ser extremadamente

reactivo en presencia de aleaciones ferrosas. De esta manera, el biogás está condicionado por la producción y combustión de sulfuro de hidrógeno conocido por sus impactos negativos en el ambiente y la salud (Truong & Abatzoglou, 2003).

Vapor de agua. Por tratarse de un proceso húmedo existe una considerable cantidad de vapor de agua presente en el biogás que lógicamente es necesario reducir o eliminar. En vista de que el vapor de agua se condensa en la tubería e impide el flujo normal del mismo.

El método por utilizar se denomina trampa de agua, para instalar este sistema es necesario que la tubería de conducción de biogás tenga una pendiente mínima de 5 cm por cada 10 m con el objeto de permitir la acumulación de agua en un solo sitio, en donde se debe colocar un pedazo de manguera con una llave.

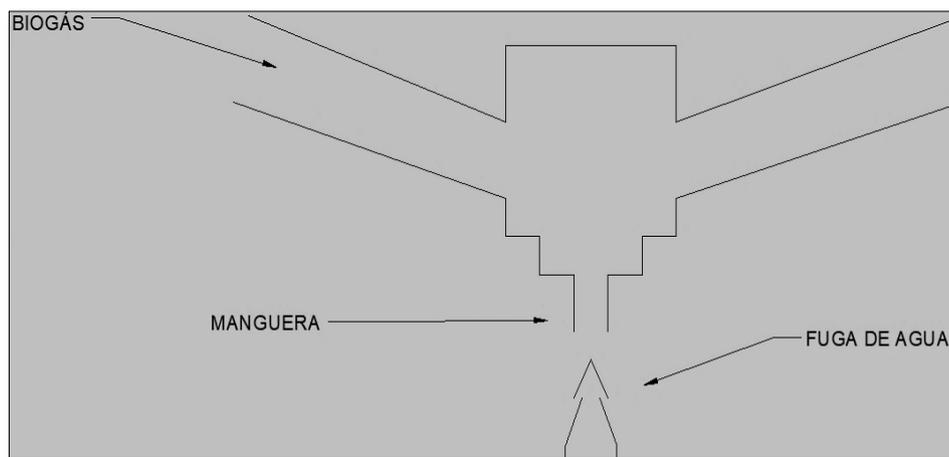


Figura 5. Trampa de agua

Elaboración: Autor

En este sistema es necesario abrir en forma periódica la válvula o llave de paso, para permitir la salida del agua que se ha condensado, lógicamente dependiendo de la longitud de la tubería de conducción de biogás, será necesario la instalación de una o varias trampas de agua.

Ácido sulfhídrico (H₂S). Se recomienda también eliminar el ácido sulfhídrico contenido en el biogás cuando es utilizado en el funcionamiento de motores a Diesel y gasolina. En el biogás se encuentran cantidades variables de ácido sulfhídrico. Este al reaccionar con el agua se convierte en ácido sulfhídrico (H₂SO₄), el cual es muy corrosivo. Con el fin de eliminar las cantidades de ácido sulfhídrico, se utilizan sistemas de filtro con sustancias como: cal viva o pagada, limadura de hierro o ciertos tipos de tierras conocidas como hematites parda o limonita, ricas en sustancias ferrosas.

Otras impurezas. Desde el punto de vista económico no se recomienda eliminar otras impurezas como el anhídrido carbónico, ya que se encarece la producción del biogás, pero si se requiere eliminar este, por su cantidad debe hacerse burbujear el biogás en soluciones de hidróxido de calcio (Ca(OH)), potasio (KOH) o sodio (NaOH); pero lógicamente el costo de los hidróxidos encarece el proceso

Método de adsorción de oscilación de presión. Mediante el empleo de carbón activado se aprovechan las características de adsorción del CH₄ y CO₂, este proceso se debe llevar a cabo en condiciones de alta presión, posteriormente el metano es liberado por la reducción de presión; cuando la presión se reduce aún más, los otros compuestos extraídos de biogás son desadsorbidos, de esta manera se separa el CO₂ a partir de mezclas de gas que contienen aire y metano (Sarkar, 1997).

1.4.6.2. Bioabono.

Es uno de los productos secundarios del proceso de digestión anaerobia. Este biofertilizante producido en el digestor es una combinación de la porción no biodegradable de sólidos y bacterias producidas durante el proceso. El sustrato descompuesto es rico en macronutrientes (principalmente nitrógeno, fósforo y potasio) y micronutrientes (Flores, 2010). En comparación con un sustrato crudo como estiércol animal, cuenta con una mejor

seguridad veterinaria puesto que durante la digestión anaerobia se inactivan los patógenos y parásitos, hay la reducción de malos olores, mayor disponibilidad de nutrientes y mejor relación C/N. La materia orgánica suministrada en el suelo facilita la generación de humus. En todos los casos, los residuos de la fermentación deben estar sujetos a medidas de control sanitario y la administración de nutrientes debe realizarse de acuerdo con un plan de fertilización aprobado (McPhail, 2012).

Adicionalmente, la aplicación diaria de 1 m³ de bioabono puede fertilizar más de 2 ha de tierra por año y proporcionar 200 kg de nitrógeno por hectárea. También cabe destacar que el bioabono no deja residuos tóxicos en el suelo, eleva su calidad y puede considerarse como un biofertilizante que puede reemplazar el uso fertilizantes químicos en cultivos (Ramón, Romero, & Simanca, 2006).

1.4.6.2.1. Análisis químico nutricional del bioabono.

Método Kjeldahl Se utiliza comúnmente para la determinación de nitrógeno orgánico, se basa en la volumetría ácido-base (mercurio, cobre o selenio). Además, se suele adicionar una sal neutra para aumentar el punto de ebullición de la disolución de ácido sulfúrico de esta manera aumenta temperatura de trabajo con lo cual se favorece la descomposición. El tratamiento transforma el nitrógeno de la muestra en NH₄⁺, la posterior adición de una base fuerte libera el NH₃, que es arrastrado hasta un frasco colector por destilación en corriente de vapor.

Espectrofotometría UV-VIS. Este método se basa en el proceso de absorción de la radiación ultravioleta-visible (radiación con longitud de onda comprendida entre los 160 y 780 nm) por una molécula. La absorción de esta radiación causa la promoción de un electrón a un estado excitado. Los electrones que se excitan al absorber radiación de esta frecuencia son los electrones de enlace de las moléculas, por lo que los picos de absorción se pueden

correlacionar con los distintos tipos de enlace presentes en el compuesto (Faraldos & Goberna, 2011).

Absorción atómica. la absorción de radiación de una longitud de onda determinada, esta radiación es absorbida selectivamente por átomos que tengan niveles energéticos cuya diferencia en energía corresponda en valor a la energía de los fotones incidentes. La cantidad de fotones absorbidos está determinada por la ley de Beer que relaciona esta pérdida de poder radiante con la concentración de la especie absorbente y con el espesor de la celda o recipiente que contiene los átomos absorbedores (Rocha, 2000).

1.4.6.3. Biol.

El biol es un efluente líquido producto del proceso de fermentación de estiércol y materia orgánica en un biodigestor, este biofertilizante sirve para la estimulación y activación nutricional de las plantas abonadas con este líquido, además ayuda al desarrollo en la capacidad de resistencia de las plantas ante el ataque de insectos y enfermedades (Vásquez, 2008).

CAPÍTULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Delimitación del proyecto

2.1.1. Ubicación del proyecto

El presente trabajo experimental se desarrolló en el cantón Paute, Provincia del Azuay, granja “Yumagcay”-Universidad Politécnica Salesiana.

2.1.2. Condiciones meteorológicas y geográficas

El cantón Paute se encuentra a 2100 m.s.n.m., la temperatura media ambiente, la humedad relativa y la precipitación anual oscilan entre 16.9 °C, 83 % y 852.4 mm, respectivamente. Los datos referentes a las condiciones climáticas del cantón Paute fueron obtenidos a través del Anuario Meteorológico emitido por el INAMHI, correspondiente al año 2012. Las coordenadas geográficas del lugar de estudio son Latitud: -78.755 y Longitud: - 2.774.

Tabla 4. Condiciones meteorológicas: Paute, Azuay

Condiciones Meteorológicas	
Temperatura media (°C)	16.9 °C
Humedad relativa (%)	83%
Precipitación Anual (mm)	852.4 mm
Altitud	2100 m.s.n.m.

Fuente: INAMHI, 2012

2.1.3. Lugar de ensayo - Granja “Yumagcay”

La granja “Yumagcay” cuenta con espacios destinados a la crianza de 5 cabezas de ganado bovino de edad adulta y 7 cabezas de ganado porcino de los cuales se obtuvieron sus desechos orgánicos (estiércol) como materia prima para la carga del biodigestor.

En la **Figura 6.** Mapa de ubicación Granja “Yumagcay”, se ilustra la ubicación geográfica de la granja dentro de la provincia y cantón, respectivamente.

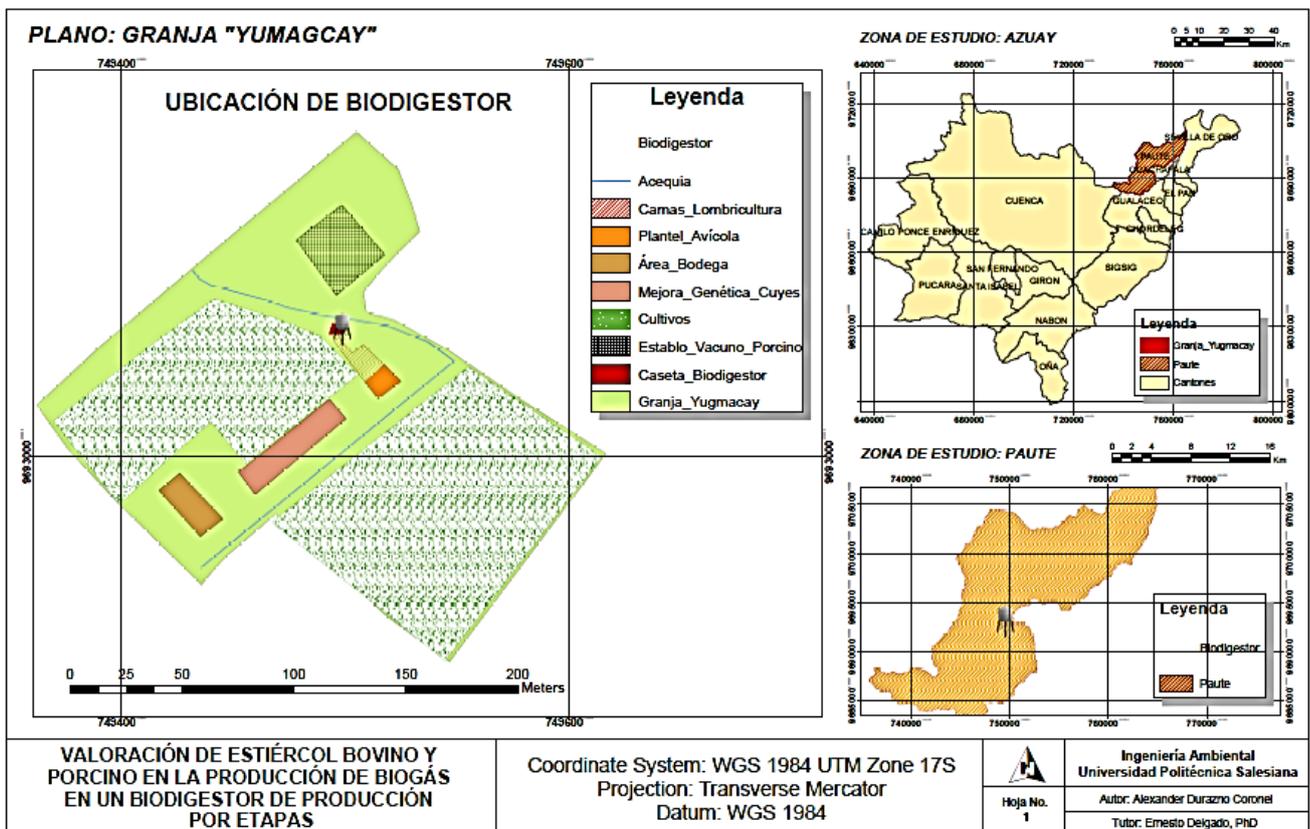


Figura 6. Mapa de ubicación Granja “Yumagcay”

Elaboración: Autor

Fuente: IGM, 2005

1.3.1. Materiales

Los materiales utilizados durante las distintas etapas: a) implementación del biodigestor, b) carga del biodigestor y c) cuantificación del biogás se presentan a continuación en la **Tabla 5.** Lista de herramientas.

2.2. Materiales

Tabla 5. Lista de herramientas

Material	Descripción	Cantidad
Tanque metálico (Biodigestor)	Capacidad: 60 galones	1
Manguera de gas	1/2"	1
Cinta adhesiva		1
Estilete		1
Adaptador de boquilla	3/4" a 1/2"	1
Tubo de neumático	Aro 10, 12 y 15	3
Tapón macho PVC	3/4"	1
Guantes de látex		1
Balanza	Capacidad 50 kg	1
Papel indicador de pH	0-14	5
Balde plástico cilíndrico	0,30m Ø x 0,35m h	1
Llave inglesa		1
Válvula de paso	3/4 "	1
Manómetro	60 PSI	1
Jarra plástica graduada	4 litros	1
Carretilla metálica	Capacidad 5 galones	1
Pala		
Cinta métrica		

Elaboración: Autor

2.3. Materia prima

Tabla 6. Materia prima en digestión anaerobia

Reactivos	Volumen	Peso
Agua	20 gal	75,71 kg
Estiércol Bovino	20 gal	67,32 kg
Estiércol Porcino	20 gal	67,32 kg

Elaboración: Autor

2.4. Metodología

2.4.1. Procedimiento general

Inicialmente se elaboró el diseño y cálculos para la capacidad de carga de un biodigestor cilíndrico de producción por etapas. Se evaluó la disposición de estiércol bovino y porcino generado en la granja y su posterior uso en la alimentación del biodigestor (Martí-Herrero, 2014).

Las variables para el análisis de la producción de biogás fueron: pH, temperatura ambiente, humedad relativa, presión, relación C/N y tiempo de retención (Sreekrishnan et al., 2004).

Se hizo igualmente el análisis físico-químico del bioabono o efluente, específicamente la concentración de (N, P, K) contenidos en la muestra.

El análisis estadístico se hizo a través de una T de student para comparar los grupos de datos y determinar su significatividad. El análisis busca determinar la diferencia o igualdad entre las medias de los grupos de datos, los valores de (P), T (crítico) y T (calculado) nos sirven para establecer la significatividad entre los grupos de datos.

2.4.2. Diseño de un biodigestor por etapas.

El diseño del biodigestor se hizo en base a la disposición de materia orgánica (Figura 7.

Diseño y dimensiones del biodigestor).

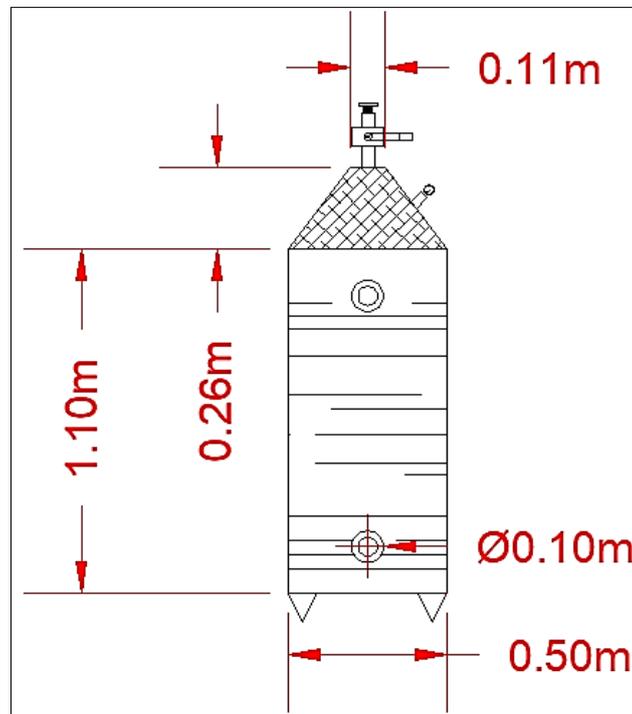


Figura 7. Diseño y dimensiones del biodigestor

Elaboración: Autor

El biodigestor se fabricó en hierro con revestimiento antioxidante y consta de dos partes:

1.- Cuerpo o tanque de forma cilíndrica, altura 1.10 m, ancho 0.50 m, aquí se ubica el tubo de carga y descarga del efluente (extremo superior e inferior del tanque) con su respectivo tapón. (**Figura 8**)



Figura 8. Tapón de hierro

Fuente: Google, 2018

2.- Campana para la recolección de biogás, altura de 0.26 m. de forma cónica, con un dispositivo que permite la salida del biogás controlada (llave de esfera de $\frac{3}{4}$); en la parte superior se ubicó un manómetro que nos sirvió para medir la presión del gas en el biodigestor. (Figura 9, Figura 10) (Tabla 7)



Figura 9. Válvula de paso de gas

Fuente: Google, 2018



Figura 10. Manómetro de 60 psi

Elaboración: Autor

Tabla 7. Dimensiones del biodigestor

Elemento	Altura (m)	Diámetro (m)
Cilindro	1,1	0,5
Cono	0,26	0,5

Elaboración: Autor

2.4.2.1. Cálculo de la capacidad de carga del biodigestor.

De acuerdo con el cálculo, el cilindro (biodigestor) tiene una capacidad de 0,216 m³

Dónde:

(1)

$$V_{cil} = \pi * r^2 * h$$

V_{cil} = Volumen del cilindro.

r^2 = radio del cilindro.

h = Altura del cilindro.

Por lo tanto:

$$V_{cil} = \pi * (0.5m)^2 * (1.1m)$$

$$V_{cil} = 0,216 m^3$$

A través de la fórmula 2 se calculó el volumen correspondiente a la parte superior del biodigestor, su sección cónica tuvo un valor de 0.017 m³.

Dónde:

(2)

$$V_{cono} = \frac{\pi * r^2 * h}{3}$$

V_{cono} = Volumen del cono.

r^2 = radio del cono.

h = Altura del cono.

Por lo tanto:

$$V_{cono} = \frac{\pi * (0.5m)^2 * (0.26m)}{3}$$

$$V_{cono} = 0,017m^3$$

Luego se procedió al cálculo final, pudiéndose establecer el volumen total del biodigestor de 0.23 m³.

Dónde:

(3)

$$VT = V_{cil} + V_{con}$$

VT = Volumen total del cilindro

V_{cil} = Volumen del cilindro

V_{con} = Volumen del cono

Por lo tanto:

$$VT = 0,216 m^3 + 0,017m^3$$

$$VT = 0.23m^3$$

La capacidad de carga del biodigestor será la mitad del cilindro (volumen) quedando el resto para la captación del biogás. (**Tabla 8.** Capacidad de carga del biodigestor.)

Tabla 8. Capacidad de carga del biodigestor.

Elemento	Galones (gal)	Metros Cúbicos (m3)	Litros (Its)
Cilindro	57,1	0,216	215,98
Cono	4,5	0,017	17,02
Total	61,6	0,23	233,00

Elaboración: Autor

2.4.3. Recolección de la materia orgánica (estiércol).

2.4.3.1. Recolección de estiércol bovino.

Dentro del establo de ganado bovino se encontraron 5 ejemplares de edad adulta que generan 7.5 kg/día de estiércol, por lo tanto, se dispone de 37.5 kg/día promedio (Guilcapi, 2016).



Figura 11. Establo de ganado bovino en granja “Yumagcay”

Elaboración: Autor

El estiércol recolectado en el establo durante 2 días consecutivos dio un total de 67.32 kg. (Figura 12. Estiércol bovino.)



Figura 12. Estiércol bovino.

Elaboración: Autor

2.4.3.1.1. Propiedades del estiércol bovino recolectado.

A. pH.

Se estableció el pH de la muestra de estiércol bovino por medio del uso de papel indicador Macherey-Nagel, rango entre 0 (ácido) y 14 (alcalino). El pH de la muestra fue de 6 (ligeramente ácido).



Figura 13. Papel indicador de pH con estiercol bovino

Elaboración: Autor

B. Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)

Se definieron los parámetros y variables de las ecuaciones necesarias para el cálculo de relación C/N en el estiércol bovino y porcino. Los valores recomendados en la relación carbono/nitrógeno del estiércol bovino y porcino corresponden a 18 y 25, respectivamente (Flores, 2010).

Tabla 9. Composición de estiércol bovino y porcino

Ganado	% Humedad (%M)	% Sólidos Totales (%ST)	% Sólidos Volátiles (%SV)	% Carbono (%C)	% Nitrógeno (%N)	Relación C/N
Bovino	86	14	80	30,6	1,7	18
Porcino	87	13	77	76	3,8	25

Fuente: (Flores, 2010)

Inicialmente, se calculó el peso de los sólidos totales del estiércol a partir de la siguiente ecuación:

(1)

$$Wst = Wr * ST$$

Dónde:

Wst = Peso de los sólidos totales en el estiércol.

Wr = Peso total del estiércol.

ST = Fracción decimal del peso de los sólidos totales del estiércol.

Posteriormente, de acuerdo con los valores referentes al peso del estiércol bovino (67.32 kg) y la fracción decimal del peso de los sólidos totales del estiércol (0.14) se obtuvo un valor de:

$$Wst = 67.32 * 0.14$$

$$W_{st} = 9.42 \frac{kg}{dia} ST \text{ estiercol}$$

A continuación, se calculó el valor correspondiente al peso del nitrógeno en la muestra de estiércol.

(2)

$$W_n = W_{st} * N$$

Dónde:

W_n = Peso del nitrógeno

W_{st} = Peso de los sólidos totales en el estiércol.

N = fracción decimal del peso de nitrógeno del estiércol

Según los datos de la **Tabla 9**. Composición de estiércol bovino y porcino y de la ecuación (2), el valor calculado fue:

$$W_n = 9.42 * 0.017$$

$$W_n = 0.16 \frac{kg}{dia} \text{ Nitrogeno}$$

En referencia al cálculo del peso de carbono contenido en la muestra, se planteó la siguiente ecuación:

(3)

$$W_c = W_n * C/N$$

Dónde:

W_c = Peso de carbono

W_n = Peso del nitrógeno

C/N = Relación Carbono/Nitrógeno optima según el tipo de estiércol

A partir de los datos de las variables previamente obtenidas de las ecuaciones y la Tabla

9. Composición de estiércol bovino y porcino, el resultado para el peso del carbono fue:

$$Wc = 0.16 * 18$$

$$Wc = 2.88 \frac{kg}{día} \text{ Carbono}$$

Posteriormente, se planteó la siguiente ecuación para el cálculo de la relación C/N:

(4)

$$C/N = \frac{Wc}{Wn}$$

Dónde:

C/N = Relación Carbono/Nitrógeno

Wc = Peso de carbono

Wn = Peso del nitrógeno

Finalmente, se determinó el valor de la relación Carbono/Nitrógeno para el estiércol bovino:

$$C/N = \frac{2.88}{0.16}$$

$$\text{Relacion } C/N = 18:1$$

El resultado se encontró dentro del rango óptimo con un valor de 18:1 es decir: la muestra contiene 18 partes de carbono por cada parte de nitrógeno.

2.4.3.2. Recolección de estiércol porcino

La producción de estiércol se da de acuerdo con el tamaño del animal (*Tabla 10. Producción de estiércol porcino*).

Tabla 10. Producción de estiércol porcino

Tamaño	Cantidad (kg/día)
Lechón	1
Mediano	1,5
Grande	2

Fuente: (Martínez Lozano, 2015)

Se recolecto un total de 55.5 kg/día de estiércol porcino, la cantidad total recolectada corresponde a un volumen de 20 galones.



Figura 14. Estiércol porcino

Elaboración: Autor

2.4.3.2.1. Propiedades del estiércol porcino recolectado.

A. pH

Para el análisis del pH de la muestra se colocó un papel indicador en el estiércol y se obtuvo un valor de 5 correspondiente a un pH ligeramente ácido.



Figura 15. *Papel indicador de pH con estiércol porcino.*

Elaboración: Autor.

B. Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)

Las variables para el cálculo de la relación C/N se encuentran detalladas en la Tabla 9. Composición de estiércol bovino y porcino. El valor óptimo en la relación C/N del estiércol porcino es de 25 (Flores, 2010).

Inicialmente, se calculó el peso de los sólidos totales del estiércol a partir de la ecuación:

(5)

$$W_{st} = W_r * ST$$

Dónde:

W_{st} = Peso de los sólidos totales en el estiércol.

Wr = Peso total del estiércol.

ST = Fracción decimal del peso de los sólidos totales del estiércol.

De acuerdo con los valores referentes al peso del estiércol porcino (55.5 kg) y la fracción decimal del peso de los sólidos totales del estiércol (0.13), se obtuvo un valor de:

$$Wst = 55.5 * 0.13$$

$$Wst = 7.22 \frac{kg}{dia} ST \text{ estiercol porcino}$$

A continuación, se calculó el valor correspondiente al peso del nitrógeno en la muestra de estiércol.

(6)

$$Wn = Wst * N$$

Donde:

Wn = Peso del nitrógeno

Wst = Peso de los sólidos totales en el estiércol.

N = fracción decimal del peso de nitrógeno del estiércol

De acuerdo con los datos de la Tabla 9 y de la ecuación (6), el valor a obtenido fue:

$$Wn = 7.22 * 0.038$$

$$Wn = 0.27 \frac{kg}{dia} \text{ Nitrogeno}$$

En referencia a la medición del peso de carbono contenido en la muestra, se planteó la siguiente ecuación:

(7)

$$Wc = Wn * C/N$$

Dónde:

Wc = Peso de carbono

Wn = Peso del nitrógeno

C/N = Relación Carbono/Nitrógeno optima según el tipo de estiércol

A partir de los datos de las variables previamente obtenidas de las ecuaciones y la Tabla 9, el peso del carbono fue:

$$Wc = 0.27 * 25$$

$$Wc = 6.85 \frac{kg}{día} \text{ Carbono}$$

Como paso final para la obtención de la Relación C/N, se planteó la siguiente ecuación:

(8)

$$C/N = \frac{Wc}{Wn}$$

Dónde:

C/N = Relación Carbono/Nitrógeno

Wc = Peso de carbono

Wn = Peso del nitrógeno

Se determinó que el valor de la relación Carbono/Nitrógeno de la muestra de estiércol porcino se encuentra en el rango óptimo de 25:1, es decir: contiene 25 partes de carbono por cada parte de nitrógeno.

$$C/N = \frac{6.85}{0.27}$$

$$\text{Relacion } C/N = 25:1$$

2.4.4. Ubicación del biodigestor

La implementación del biodigestor se realizó en el área de lumbricultura y cultivos de la granja “Yumagcay”, Paute.



Figura 16. Granja “Yumagcay”

Elaboración: Autor.



Figura 17. Biodigestor cilíndrico de hierro

Elaboración: Autor

2.4.5. Carga del biodigestor con materia orgánica (estiércol).

2.4.5.1. Estiércol bovino.

La carga del biodigestor con la mezcla con relación 1:1 de estiércol bovino y agua se realizó por medio de un balde plástico. Inicialmente se abrió el acceso de entrada del biodigestor y se continuó el proceso de llenado del tanque con la mezcla. Finalmente se cerró la entrada con el tapón.



Figura 18. Carga del biodigestor con estiércol bovino

Elaboración: Autor

En la Tabla 11 se indica el volumen y peso de la mezcla (estiércol y agua) usada durante la carga del biodigestor.

Tabla 11. Volumen de carga del biodigestor con estiércol bovino

Sustrato	gal	litros	m ³	kg
Estiércol Bovino	20	75.7	0,0757	67.32
Agua	20	75.7	0,0757	75.7
Total	40	151.41	0,1514	143,031

Elaboración: Autor.

La cantidad de estiércol bovino recolectado durante 2 días (67.32 kg), equivale al 32% de la capacidad volumétrica del biodigestor, esto sumado a la misma cantidad de agua

necesaria para la mezcla 1:1 de estiércol y agua, representa un 65% del digestor ocupado por la mezcla. (Tabla 12)

Tabla 12. *Porcentaje de carga del biodigestor con estiércol bovino*

Volumen Biodigestor (gal)	61,6
Mezcla (1:1) (gal)	40
Capacidad (%)	65%

Elaboración: Autor

2.4.5.2. Estiércol porcino.

La **Tabla 13** indica el volumen y peso del estiércol porcino y agua utilizados en la mezcla 1:1 depositada en el biodigestor.

Tabla 13. *Volumen de carga del biodigestor con estiercol porcino.*

Sustrato	galones	litros	m³	kg
Estiércol porcino	20	75.7	0,0757	55.5
Agua	20	75.7	0,0757	75.71
Total	40	151.41	0,1514	131.21

Elaboración: Autor.

La cantidad de estiércol porcino recolectado (55.5 kg) representa el 32% de la capacidad volumétrica del biodigestor, sumado al mismo volumen de agua para la mezcla 1:1 de estiércol y agua, equivale al 65% de la capacidad total del digestor.

Tabla 14. *Porcentaje de carga del biodigestor.*

Volumen Biodigestor (gal)	61,6
Mezcla (1:1) (gal)	40
Capacidad (%)	65%

Elaboración: Autor.

2.4.6. Digestión de la carga orgánica.

Concluida la carga del biodigestor con las mezclas de estiércol bovino y porcino, se dio inicio a la etapa de digestión de la materia orgánica. Se consideraron variables fundamentales en el proceso de digestión anaerobia como: temperatura y humedad ambiente, presión del biogás y agitación del biodigestor. El tiempo de retención fue de 50 días.

2.4.6.1. Factores que intervienen en la digestión anaerobia.

A. Tiempo de retención

El tiempo de retención establecido para la digestión de las cargas orgánicas de bovino y porcino fue de 50 días, además se recolectó el biogás cada 10 días. Los periodos para la digestión comprendieron desde el 14 de octubre hasta el 02 de diciembre del 2017 para la mezcla bovina y del 17 de diciembre del 2017 hasta el 04 de febrero del 2018 para la mezcla porcina. En las **Tabla 15** y **Tabla 16**, se detallan las fechas correspondientes al tiempo de retención y sus periodos para cada tipo de mezcla.

Tabla 15. *Tiempo de retención de carga bovina.*

Días	Periodo
10	14/oct/17 – 23/oct/17
20	24/oct/17 – 02/nov/17
30	03/nov/17 – 12/nov/17
40	13/nov/17 – 22/nov/17
50	23/nov/17 – 02/dic/17

Elaboración: Autor

Tabla 16. *Tiempo de retención para carga porcina*

Días	Periodo
10	17/12/2017 - 26/12/2017
20	27/12/2017 - 05/01/2018
30	06/01/2018 - 15/01/2018
40	16/01/2018 - 25/01/2018
50	26/01/2018 - 04/02/2018

Elaboración: Autor

B. Temperatura y humedad ambiente.

La medición de estas variables se realizó con un termohigrómetro, y se verificaron los datos mediante la aplicación online de pronósticos climáticos por satélite *AccuWeather*.



Figura 19. Termihigrómetro

Elaboración: Autor.

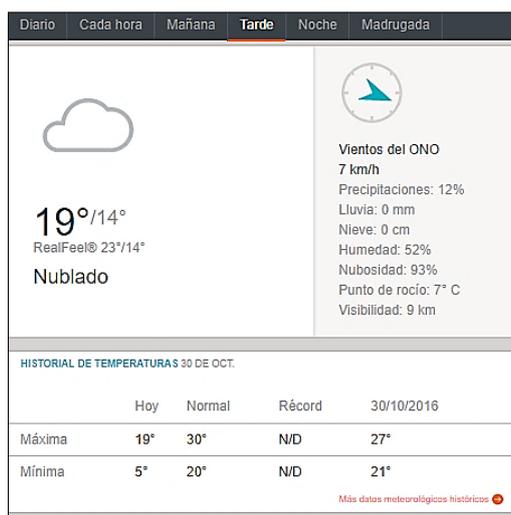


Figura 20. Aplicación Accuweather.

Elaboración: Autor.

C. Presión

El área de acumulación del biogás dentro del biodigestor equivale al 35 % de su volumen total y el 65 % restante corresponde a la mezcla 1:1 (estiércol y agua). En efecto, la estructura rígida del biodigestor y su condición hermética impide que el biogás pueda fugar.

D. Agitación

Para cada una de las mezclas contenidas en el biodigestor, se suministró una agitación manual del tanque cada 2 días con el fin de evitar la sedimentación de la parte sólida del sustrato y provocar la activación y mezcla de la parte microbiana contenida en el sustrato a digerir.

2.4.7. Recolección de biogás.

La recolección del biogás se realizó mediante la conexión de dos mangueras de 1/2" y 1", respectivamente hacia un tubo de llanta mediante un adaptador de boquilla de 3/4" a 1/2" y se utilizó cinta aislante para evitar cualquier fuga de gas. Esta conexión se realizó directamente a la válvula de paso del biodigestor hacia la manguera y el tubo de llanta con el fin de permitir el paso del biogás hacia el recipiente y poder cuantificar el volumen generado.



Figura 21. Recolección de biogás.

Elaboración: Autor.

2.4.8. Cuantificación de biogás producido.

La cuantificación del biogás se hizo a través de la diferencia de volúmenes, el biogás almacenado en tubos de neumáticos ocupa un espacio que puede desplazar un volumen, de esta manera se utilizaron dos recipientes para medir el volumen de agua que desplaza el gas almacenado en el tubo de neumático que vendría a ser el volumen del biogás. (Figura 22. Cuantificación de biogás mediante diferencia de volumen)



Figura 22. Cuantificación de biogás mediante diferencia de volumen

Elaboración: Autor.

2.4.9. Aplicación del bioabono.

Una vez concluido el proceso de digestión anaerobia de 50 días, se llevó a cabo la aplicación del bioabono en un área de 5 m² de la granja donde se consideró la poca vegetación del suelo y su aspecto semiárido. Durante la aplicación del efluente, se realizó la mezcla con agua en una relación 1:3, es decir una parte del bioabono y tres partes de agua.

También se midió el pH de las muestras de bioabono bovino y porcino, mediante la utilización de papel indicador pH (Macherey-Nagel).



Figura 23. *Medición de pH en bioabono bovino y porcino.*

Elaboración: Autor.

Finalmente, se realizó el análisis químico de laboratorio del bioabono bovino donde se examinaron parámetros como: Nitrógeno, Fosforo y Potasio, mismos que son macronutrientes esenciales para la calidad del suelo y plantas. Dicho análisis fue realizado por MSV Laboratorio, acreditado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE) mediante el certificado SAE-LEN-16-018 de acuerdo con los requerimientos establecidos en la Norma NTE INEN ISO/IEC 17025:2006.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS

3.1. Variables de análisis de producción de biogás

3.1.1. Bovino.

Según las condiciones que intervienen en la producción del biogás producido a partir de estiércol bovino, se obtuvieron los siguientes resultados: peso de la materia orgánica de 67.32 kg, volumen de mezcla de 75.71 litros, relación 1:1 estiércol-agua, pH del sustrato (6) (ligeramente ácido), temperatura y humedad promedio de 14.27 °C y 74.26 %, presión promedio del biogás en el interior del biodigestor de 12 psi, tiempo de retención de 50 días y la producción de 0.0488 m³ o 48.8 litros de biogás.

Tabla 17. Variables en la producción de biogás bovino

Peso estiércol (Kg)	67.32
Volumen estiércol (Litros)	75.71
pH (Estiércol)	6
Agua (Litros)	75.71
Temperatura (°C)	14.27
Humedad (%)	74.26
Presión (PSI)	12
Tiempo Retención (Días)	50
Biogás producido (Litros)	48.8
Biogás producido (m ³)	0.0488

Elaboración: Autor

3.1.2. Porcino.

Se obtuvieron los siguientes resultados: peso de la materia orgánica de 55.5 kg, volumen de mezcla 75.71 litros referente a la relación 1:1 entre el estiércol y agua, pH de la muestra de estiércol de 5 (ligeramente ácido), temperatura y humedad promedio de 14.53 °C y 75.57 %, presión promedio del biogás la interior del biodigestor de 15.2 psi, tiempo de retención de 50 días y la producción de 0.0659 m³ o 65.9 litros de biogás.

Tabla 18. Variables en la producción de biogás porcino.

Peso estiércol (Kg)	55.5
Volumen estiércol (Litros)	75.71
pH (Estiércol)	5
Agua (Litros)	75.71
Temperatura (°C)	14.53
Humedad (%)	75.57
Presión (PSI)	15.2
Tiempo Retención (Días)	50
Biogás producido (Litros)	65.9
Biogás producido (m3)	0.0659

Elaboración: Autor

3.2. Producción total de biogás

De acuerdo a los datos detallados en las Tablas 19 y 20, se evidenció una mayor producción de biogás porcino en comparación del bovino con un volumen de 65.9 litros y 48.8 litros, equivalente a la generación total del 57 % de biogás porcino a diferencia del 43 % de bovino producido durante 50 días de digestión.

Tabla 19. Variables en la producción total de biogás bovino

T.R. (Días)	Temperatura (°C)	Presión (PSI)	Biogás (Litros)	Biogás (m3)
10	13,9	10	7	0,007
20	13,7	10	8,1	0,0081
30	14,45	12	10	0,01
40	14,8	16	14,2	0,0142
50	14,5	12	9,5	0,0095
Resultados	14,27	12	48,8	0,0488

Elaboración: Autor.

Tabla 20. Variables en la producción total de biogás porcino

T.R. (Días)	Temperatura (°C)	Presión (PSI)	Biogás (Litros)	Biogás (m3)
10	14,9	12	10,2	0,0102
20	13,9	15	12,3	0,0123
30	14,35	22	18,5	0,0185
40	14,1	15	13,3	0,0133
50	15,4	12	11,6	0,0116
Resultados	14,53	15,2	65,9	0,0659

Elaboración: Autor.

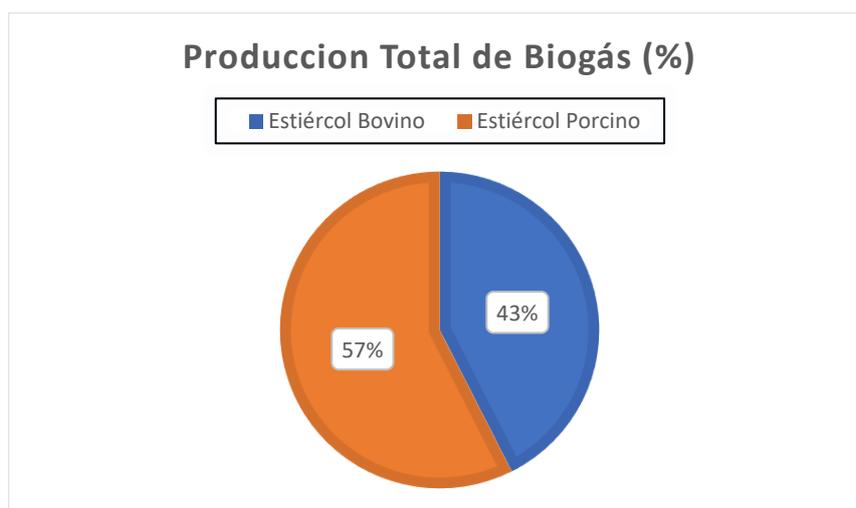


Figura 24. Porcentaje de la producción total de biogás.

Elaboración: Autor.

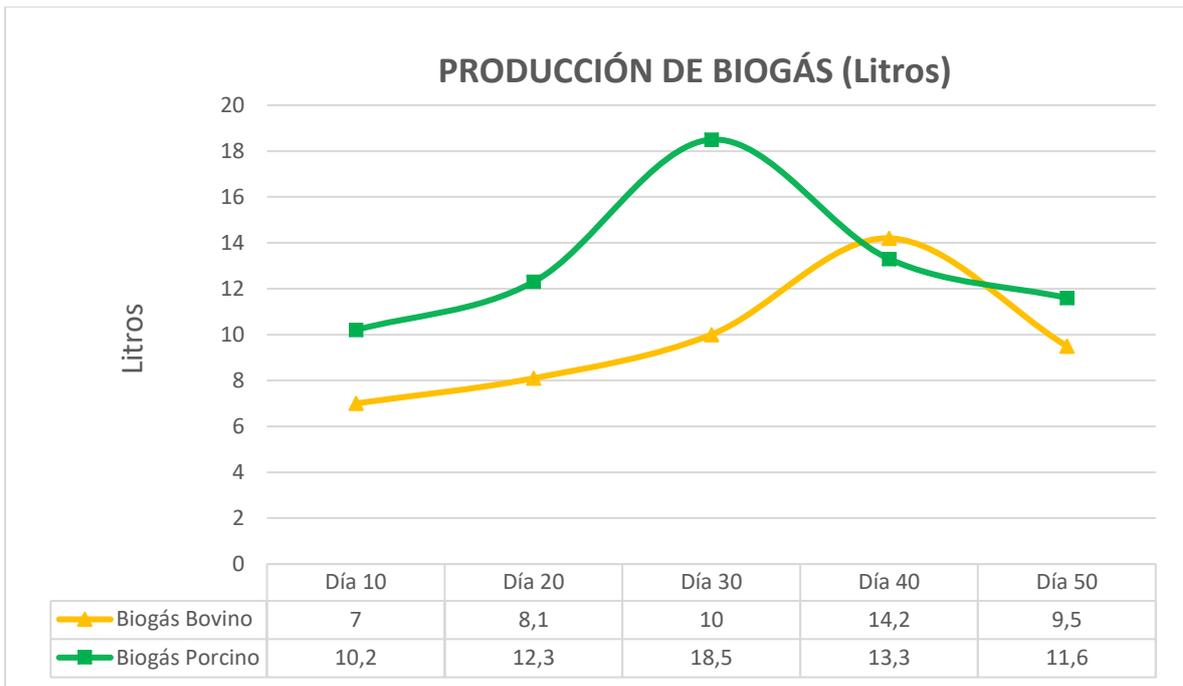


Figura 25. Producción total de biogás con estiércol bovino y porcino.

Elaboración: Autor.

De acuerdo con la **Figura 25.** Producción total de biogás con estiércol bovino y porcino., se registró una mayor producción de biogás con el estiércol porcino en el día 30 con un valor de 18.5 litros, mientras en el estiércol bovino su mayor pico de producción fue a los 40 días con un volumen de 14.2 litros. En contraste, la menor producción de biogás porcino fue en los primeros 10 días de digestión al igual que el estiercol bovino con un valor de 7 litros, mientras que para el estiercol bovino el menor volumen producido fue a los 50 días con 9.5 litros.

3.3. Temperatura ambiente en la producción de biogás

En la Figura 26, se detalla la temperatura promedio ambiente en los 50 días del proceso de producción de biogás. Durante el proceso de digestión bovina la mayor temperatura promedio se registró a los 40 días con un valor de 14.8 °C, mientras que en el proceso de digestión porcina fue a los 50 días con una temperatura de 15.4 °C. Las temperaturas

promedio más bajas durante la producción de biogás se registraron a los 20 días con temperaturas de 13.7 °C y 13.9 °C, respectivamente.

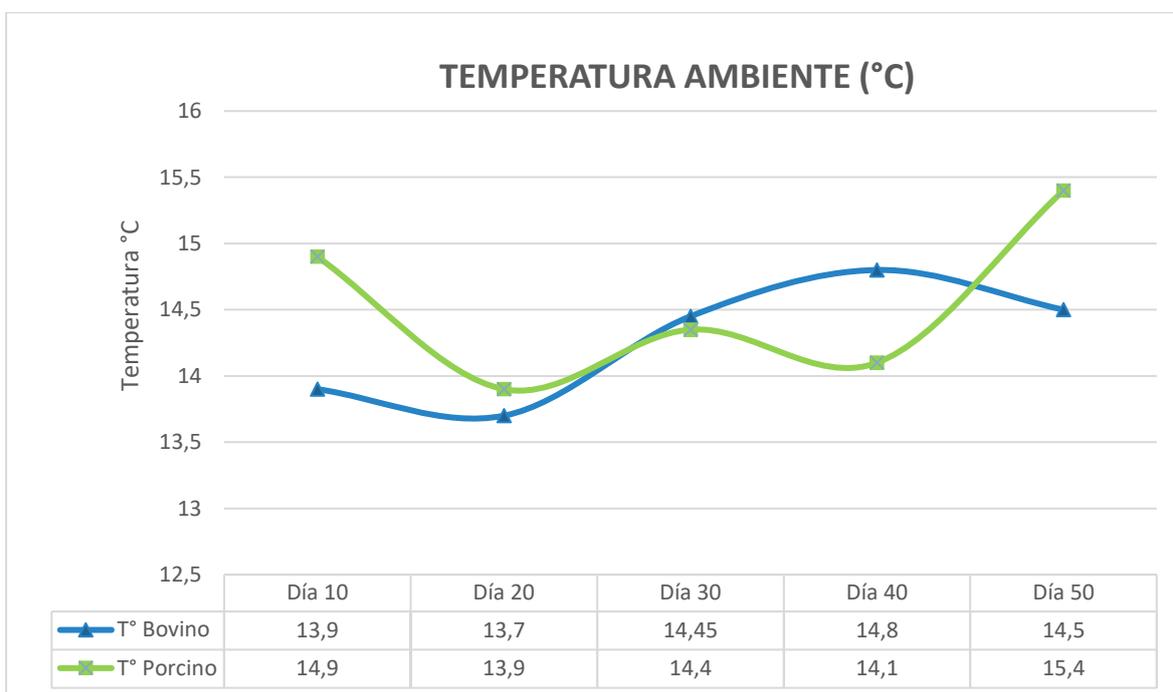


Figura 26. Temperatura ambiente en la producción de biogás.

Elaboración: Autor

3.3.1. Bovino

El resultado promedio de la temperatura y humedad ambiente fue de 14.27 °C y 74.22 %. De igual forma se obtuvieron valores promedio de las temperatura máximas y mínimas al igual que la humedad ambiente en intervalos de 10 días. (Tabla 21. Temperatura y humedad ambiente en la producción de biogás bovino

Tabla 21. Temperatura y humedad ambiente en la producción de biogás bovino

Tiempo Retención (Días)	Periodos	TEMPERATURA (°C)			Humedad (%)
		Max	Min	Promedio	
10	14/oct/17 - 23/oct/17	18,9	8,9	13,9	76,4
20	24/oct/17 - 2/nov/17	19,4	8	13,7	74,8
30	3/nov/17 - 12/nov/17	20,1	8,8	14,45	73,7
40	13/nov/17 - 22/nov/17	21	8,6	14,8	67,8
50	23/nov/17 - 2/dic/17	20,1	8,9	14,5	78,4
Promedio		19,9	8,64	14,27	74,22

Elaboración: Autor

3.3.2. Porcino

El resultado correspondiente a la temperatura y humedad ambiente fue de 14.53 °C y 75.57 %. En un intervalo de 10 días, se obtuvieron los valores promedio de las temperatura máximas y mínimas al igual que la humedad ambiente detalladas en la Tabla 22.

Tabla 22. Temperatura y humedad ambiente en la producción de biogás porcino

Días	Periodos	TEMPERATURA (°C)			Humedad (%)
		Max	Min	Promedio	
10	17/12/2017 - 26/12/2017	21,7	8,1	14,9	73,55
20	27/12/2017 - 5/1/2018	19,9	7,9	13,9	78,50
30	6/1/2018 - 15/1/2018	20,3	8,4	14,4	76,45
40	16/1/2018 - 25/1/2018	20	8,2	14,1	74,10
50	26/1/2018 - 4/2/2018	21,9	8,9	15,4	75,25
Promedio		20,76	8,3	14,53	75,57

Elaboración: Autor

3.4. Presión en la producción de biogás

Tal como se observa en la Figura 27, la curva roja correspondiente a la presión en el proceso de digestión porcina alcanzó su pico máximo de presión de 22 psi a los 30 días y su producción más baja fue durante los 10 primeros días con un valor 12 psi. En cambio, el

color de la curva azul que representa la curva de presión del biogás bovino indicó que la máxima presión obtenida fue de 16 psi a los 40 días del proceso, en contraste su presión más baja fue a los primeros 10 con un valor de 10 psi, coincidiendo con la baja producción de la presión porcina durante los primeros días del proceso.

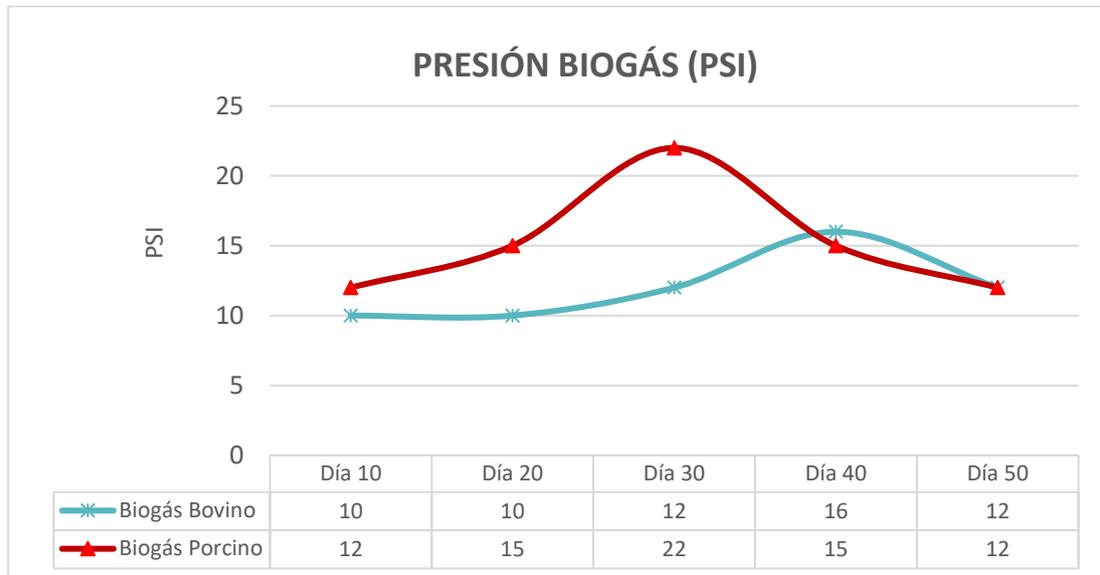


Figura 27. Presión en la producción de biogás

Elaboración: Autor

3.4.1. Bovino.

En la Tabla 23 se detalla la presión generada al interior del biodigestor durante la etapa de digestión anaerobia del sustrato bovino, la presión promedio fue de 12 psi, en tanto que las presiones mínimas y máximas producidas fueron de 10 psi y 16 psi, generadas a los 10 y 40 días de digestión, respectivamente.

Tabla 23. Presión de biogás bovino

T.R. (Días)	Presión (PSI)
10	10
20	10
30	12
40	16
50	12
Promedio	12

Elaboración: Autor

3.4.2. Porcino.

En la Tabla 24, se detalla la presión generada durante la etapa de digestión del estiércol porcino, la presión promedio fue de 15.2 psi. Las presiones mínimas y máximas producidas fueron de 12 psi y 22 psi correspondiente a los 10 y 40 días de digestión, respectivamente.

Tabla 24. Presión de biogás porcino

T.R. (Días)	Presión (PSI)
10	12
20	15
30	22
40	15
50	12
Promedio	15,2

Elaboración: Autor

3.5. Análisis estadístico de las variables temperatura, presión y biogás.

En el presente trabajo experimental se trabajó con un nivel de significancia del 5% para el análisis de la hipótesis nula a partir de la probabilidad de que el “t calculado” sea menor o igual que el “t crítico” valor referente a la variable “P(T<=t) dos colas”. Si el nivel de significancia es menor que “P(T<=t) dos colas”, se rechaza la hipótesis. Si el nivel de significancia es mayor que “P(T<=t) dos colas”, se acepta la hipótesis nula.

Se elaboró en Excel la Tabla 25, que describe el valor P obtenido para cada conjunto de datos pertenecientes a las variables estudiadas en la producción de biogás y en la digestión anaerobia como son: biogás producido, temperatura y presión.

Tabla 25. *Análisis estadístico de variables con t student.*

Variable	Nivel significancia	Estadístico t	Valor P
Biogás	0,05	-1,819	0,089203803
Temperatura	0,05	-0,761	0,458400183
Presión	0,05	-1,501	0,182225888

Elaboración: Autor

Las variables en estudio tuvieron un valor p mayor que el nivel de significancia (5 %) por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se interpreta que la producción media de biogás bovino difiere de la producción media de biogás porcino. Por otra parte, la variable temperatura evidenció la mayor diferencia estadísticamente significativa entre ambos procesos con un nivel de confianza de 95 %. De igual manera, la presión en el proceso bovino es diferente del proceso de digestión porcino, confirmando la hipótesis de que todas las variables correspondientes a la digestión de estiércol bovino y porcino presentaron diferencias en sus resultados finales.

3.6. Cuantificación del bioabono producido.

3.6.1. Cuantificación del bioabono bovino.

A partir de la aplicación del bioabono bovino con relación 1:3 (bioabono y agua) en un área de suelo de 5 m², se establecieron cantidades de 151.4 litros y 454.2 litros correspondientes a esta mezcla. Esta relación se debe a una valoración y análisis del efecto del bioabono bovino en el suelo, teniendo un total de 605.5 litros de biofertilizante aplicado.

Tabla 26. *Volumen de bioabono bovino*

Sustrato	Volumen (litros)
Estiércol Bovino	151,4
Agua	454,2
Total	605.6

Elaboración: Autor

3.6.1.1. pH del bioabono bovino.

La medición del pH del bioabono bovino registró un valor de 7 (neutro) y un incremento en comparación del pH inicial de la muestra antes de digerir, la cual tenía un valor de 6 (ligeramente ácido).

Tabla 27. *Valor de pH del bioabono bovino*

Parámetro	Valor	Descripción
pH	7	Neutro

Elaboración: Autor

3.6.2. Cuantificación de bioabono porcino.

Se generó una cantidad de 151.4 litros de bioabono porcino y agua con relación 1:1, contenidos en el interior del biodigestor al momento de la descarga.

Tabla 28. *Volumen de bioabono porcino*

Sustrato	Volumen (litros)
Estiércol Porcino	151.4
Agua	454.2
Total	606.6

Elaboración: Autor

3.6.2.1. pH del bioabono porcino.

Como se indica en la Tabla 29, el pH del bioabono porcino tiene un valor de 5 (ligeramente ácido), esto denota un incremento en comparación del pH inicial de la muestra antes de digerir, la cual tenía un valor referente a 6 (ligeramente ácido).

Tabla 29. Valor de pH del bioabono porcino

Parámetro	Valor	Descripción
pH	6	Ligeramente ácido

Elaboración: Autor

3.7. Análisis químico del bioabono.

3.7.1. Bioabono bovino

En base al análisis químico de laboratorio realizado al bioabono bovino, se compararon los macronutrientes fósforo, nitrógeno y potasio, y se llegó a la conclusión que el principal componente presente en el bioabono es el potasio con un valor de 879.43 mg/Kg, seguido del nitrógeno y fósforo con valores de 746.36 mg/Kg y 573.94 mg/Kg, respectivamente.

Tabla 30. Análisis químico del bioabono bovino.

Parámetro	Método	Unidad	Resultados
Fósforo	Espectrofotometría UV-Vis	mg/Kg	573,94
Nitrógeno	Kjeldahl	mg/Kg	746,36
Potasio	Absorción Atómica	mg/Kg	879,43

Elaboración: Autor

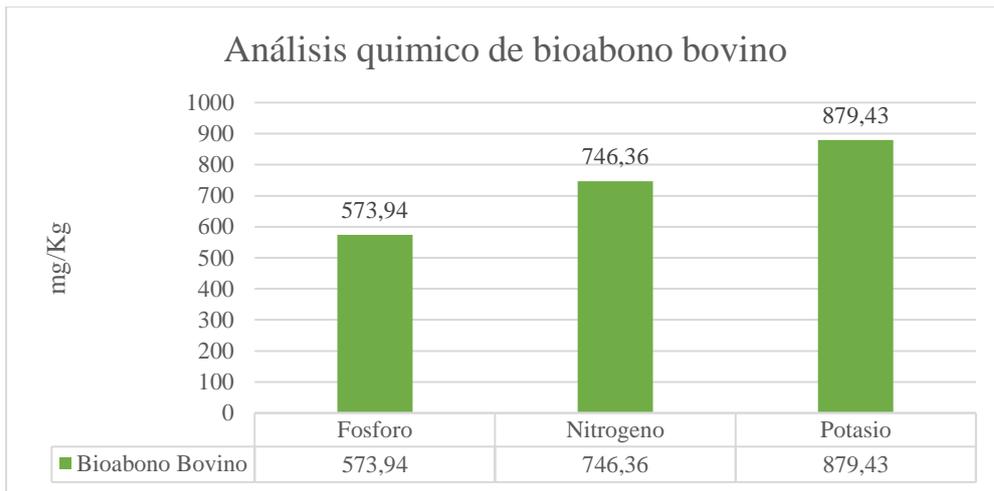


Figura 28. Resultados de análisis químico a bioabono bovino

Elaboración: Autor

Los resultados proporcionados por el análisis de laboratorio determinaron un valor elevado en los macronutrientes pertenecientes al bioabono porcino. Para ello se establece que:

- Los macronutrientes analizados en este estudio, pertenecientes a la digestión del estiércol bovino aplicado en un área de 5 m² de suelo en la granja “Yumagcay” indican que el macronutriente con mayor producción es el potasio con 879.43 mg/Kg; induciendo a un mejoramiento en la estructura del suelo y facilitando la actividad radicular de tal manera que las raíces de las plantas se desarrollen de mejor forma.
- En segundo lugar, se encuentra el nitrógeno con un valor de 746.36 mg/Kg; este nutriente es clave para la nutrición mineral debido a que limita las cosechas y es el encargado del aumento de la fertilización, los beneficios se apreciaron a simple vista ya que provocó un intenso color verde en la vegetación.

- Por último, se encuentra el fósforo con una producción de 573.94 mg/Kg, que provocó un rápido crecimiento de la parte herbácea aumentando la producción vegetativa del suelo.

3.7.2. Bioabono porcino

En base al análisis químico de laboratorio realizado al bioabono porcino se compararon los macronutrientes fósforo, nitrógeno y potasio, concluyendo que el principal nutriente presente en el bioabono es el potasio con un valor de 2044.63 mg/Kg, seguido de nitrógeno y fósforo con valores de 1544.29 mg/Kg y 1383.8 mg/Kg, respectivamente.

Tabla 31. Análisis químico de bioabono porcino

Parámetro	Método	Unidad	Resultados
Fósforo	Espectrofotometría UV-Vis	mg/Kg	1383,8
Nitrógeno	Kjeldahl	mg/Kg	1544,29
Potasio	Absorción Atómica	mg/Kg	2044,63

Elaboración: Autor.

3.8. CONCLUSIONES

A partir de la digestión anaerobia de 55.5 kg de estiércol porcino y 67.32 kg de estiércol bovino, se concluyó:

- Que la producción de biogás es factible con la carga al 65 % de la capacidad del biodigestor con una mezcla con relación 1:1 entre estiércol y agua.
- La producción total de biogás en el proceso de digestión porcina fue superior en un porcentaje de 6 % en comparación con la generación de biogás bovino.
- La máxima producción de biogás porcino corresponde al día 30, registrando un volumen de 18.5 litros de biogás a 14.4 °C de temperatura y para el día 40 se redujo la temperatura al igual que la cantidad de gas generado a 14.1 °C y 13.3 litros,

respectivamente. No obstante, el día 50 se registró un aumento considerable de la temperatura a 15.4 °C, lo que produjo un aumento de generación de biogás de 2.1 litros en comparación con el mismo periodo de tiempo respecto al proceso bovino.

- El mayor promedio de temperatura ambiente registrado fue de 14.53 °C y 14.27 °C tanto para el proceso de digestión porcino y bovino, respectivamente. En la digestión porcina las temperaturas más elevadas se registraron en el último periodo correspondiente a los 50 días con un valor promedio de 15.4 °C y 14.8 °C para el proceso bovino durante el intervalo de los 40 días.
- La mayor presión obtenida fue en la digestión porcina con un valor de 22 psi a los 30 días del proceso y el máximo valor en la digestión bovina fue de 16 psi a los 40 días. En este mismo sentido, el promedio general de presión es mayor para el biogás porcino con un valor de 15.2 psi respecto de los 12 psi de promedio que genera el biogás bovino.
- En el análisis estadístico se pudo demostrar la diferencia entre las variables temperatura, presión y biogás en cada uno de los ensayos de acuerdo a los valores de P con un nivel de significancia de (0.05).
- Se demostró un aumento en los valores correspondientes al pH del estiércol bovino después de su proceso de digestión, de ligeramente ácido (pH=6) a neutro (pH=7).
- Es posible que la cantidad de biogás producido pudo tener cierta afección debido a los cambios bruscos de clima suscitados en el lugar de estudio puesto que se registraron temperaturas máximas de 25 °C durante el día y en la noche descendían hasta mínimas de 7 °C. Esto perjudica a la acción de los microorganismos responsables de la metanogénesis.

- La producción de biogás durante los primeros 30 días es mayor para el caso de estiércol porcino debido a que su pico máximo de producción fue a los 30 días, mientras que el pico máximo para la generación de biogás bovino fue a los 40 días.
- La aplicación de bioabono de estiércol bovino en el suelo evidenció el desarrollo de biomasa vegetal en grandes cantidades, pudiendo recomendarse este sustrato como biofertilizante, ya que de acuerdo a los análisis químicos tiene concentraciones elevadas de N-P-K.

DISCUSIÓN

- Los resultados obtenidos en la producción de biogás coinciden con lo expuesto por Toala (2013), quien sostiene que a menores temperaturas se requiere un mayor tiempo de retención para la producción de biogás; en este caso debido a los cambios bruscos de temperatura del lugar de ensayo, resultó perjudicial para los microorganismos encargados de digerir la materia orgánica ya que son sensibles a este tipo de eventos y limitan su actividad metabólica. Sin embargo, no se evidenció que esto afecte de manera total el proceso de producción de biogás.
- La calidad de macronutrientes asimilados en el bioabono bovino concuerda con el tiempo de retención para periodos extendidos donde se obtiene un rendimiento bajo de biogás, pero con un efluente más degradado y con excelente calidad de nutrientes (Soria-Fregoso et al., 2001).
- Con relación a la medición del pH antes y después de los procesos digestivos, se afirma que el pH de las muestras de estiércol tiende a un valor neutro después del proceso de digestión anaerobia, ya que en el estiércol bovino el valor de pH al inicio y al final del proceso fue de 6 y 7, mientras que para el estiércol porcino fue de 5 y 6, respectivamente (Bermúdez & Díaz, 2010).

- De acuerdo a los análisis de laboratorio realizado a los bioabonos obtenidos del proceso de digestión bovino y porcino, se cuenta con una cantidad importante de macronutrientes como nitrógeno, potasio y fósforo, fundamentales para la nutrición de suelo y plantas, por lo que se sugiere el uso de este efluente como biofertilizante para cultivos (Flores, 2010).

RECOMENDACIONES

- La producción diaria de estiércol bovino y porcino sugiere la implementación de un biodigestor de producción continua para que se puedan aprovechar los residuos generados diariamente en la granja “Yumagcay”, ya sean de origen animal o vegetal.
- En cuanto al estiércol porcino, se debería establecer un mayor tiempo de retención debido a que cuenta con un mayor potencial para la producción de biogás en comparación con el estiércol bovino.
- El bioabono generado sirve como un fertilizante de alta calidad para los cultivos en la Granja “Yumagcay”. No obstante, se recomienda realizar un estudio microbiológico de patógenos debido a que dichos cultivos son utilizados como alimento para el ganado del sitio.
- Que este estudio sirva como inicio de futuras investigaciones donde los métodos de medición de variables como pH, presión y temperatura sean debidamente tecnificados con el fin de establecer relaciones cada vez más exactas y se pueda contar con un mayor número de datos para un mejor análisis estadístico.

REFERENCIAS

- Arce, J. (2011). Diseño de un Biodigestor para generar biogás y abono a partir de desechos orgánicos de animales aplicable en las zonas agrarias del Litoral. 13. (U. P.-S. Guayaquil, Ed.) Guayaquil, Ecuador.
- Batzias, F., Sidiras, K., & Spyrou, E. (2005). Evaluating livestock manures for biogas production : a GIS based method. *Renewable Energy*, 1161-1176.
- Cendales, E. (2011). Producción de biogás mediante la codigestión anaeróbica de la mezcla de residuos cítricos y estiércol bovino para su utilización como fuente de energía renovable. 35-37. Bogotá, Colombia.
- De La Merced Jimenez, D. (Noviembre de 2012). *Evaluación de los Parámetros de un Biodigestor Anaerobio Tipo Continuo*. Xalapa, Veracruz, Mexico., Veracruz, México.
- Domínguez, P. &. (2007). Sistemas integrados de producción con no rumiantes. *Biodigestores como componentes de sistemas agropecuarios integrados*, 34-41. La Habana, Cuba.
- El-Mashad, H. M. (2010). Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste. *Bioresource technology*, *101*(11), 4021-4028.
- Faraldos, M., & Goberna, C. (2011). *Técnicas de análisis y caracterización de materiales*. . Editorial CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Ferrer, I. U. (2009). *Producción de biogás a partir de residuos orgánicos en biodigestores de bajo coste*, 31 . (J. Girona, Ed.) Barcelona, España.
- Filomeno, S. F. (2010). *Estudio de factibilidad para un programa de biogas en Nicaragua*. Managua: Managua: SNV Hivos.

- Flores, J. (2010). Plan piloto de biodigestores para el aprovechamiento de las heces de porcino obteniendo biogás y biofertilizante. *Universidad De Las Américas*, 50-70. Quito, Ecuador: Facultad de Ingeniería Agroindustrial y de Alimentos.
- Flores, R. M.-L. (2008). Estimación de la generación de energía a partir de biomasa para proyectos del programa de mecanismo de desarrollo limpio. *Revista Mexicana de ingeniería química*, 7(1), 35-39.
- Guilcapi, L. (2016). DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS GENERADO POR LAS EXCRETAS DE GANADO VACUNO, EN EL CRIADERO “JERSEY CHUGLLI. Riobamba.
- Li, R., Chen, S., Li, X., Lar, J., He, Y., & Zhu, B. (2009). Anaerobic Codigestion of Kitchen Waste with Cattle Manure for Biogas Production. *Energy Fuels*, 2225-2228.
- Martí-Herrero, J. C. (2014). Como tecnología apropiada para la aplicación generalizada de bajo coste digestores tubulares: resultados y lecciones aprendidas de Bolivia. *Las energías renovables*(71), 156-165.
- Martínez Lozano, M. (2015). Producción potencial de biogás empleando excretas de ganado porcino en el estado de Guanajuato. *Nova Scientia*, 7(15), 96-115.
- Massi, E. (2010). Anaerobic digestion. In Fuel Cells in the Waste-to-Energy Chain. En S. J. McPhail. Springer London.
- McPhail, S. J. (2012). Fuel Cells in the Waste-to-energy Chain: Distributed Generation Through Non-conventional Fuels and Fuel Cells. . Springer Science & Business Media.
- Narvaez, Y., & Saltos, A. (2007). DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN BIODIGESTOR TIPO PILOTO PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGAS Y

BIOABONO A PARTIR DE LA MEZCLA DE ESTIERCOL VACUNO Y SUERO DE QUESO. 8-15. Guayaquil, Ecuador.

Ni, J. Q. (1993). Biogas: exploitation of a renewable energy in Latin America. *Renewable energy*, 3(6), 763-779.

Ni, J. Q. (1996). New concept for the evaluation of rural biogas management in developing countries. *Energy Conversion and Management*, 37(10), 1525-1534.

Rocha, E. (2000). *PRINCIPIOS BÁSICOS DE ESP'ECTROSCOPIÁ*. México: UACH.

Sarkar, S. C. (1997). Role of activated carbon pellets in carbon dioxide removal. *Energy conversion and management*, 38, 105-110.

Sogari, N. (2003). *Cálculo de la producción de metano generado por distintos restos orgánicos*. Universidad Nacional Del Nordeste, Argentina., Comunicaciones Científicas y Tecnológicas., Argentina.

Sreekrishnan, T., Kohli, S., & Rana, V. (2004). Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques. *Bioresour Technol*, 95, 1-10.

Toala, E. (2013). DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DE POLIETILENO PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DEL ESTIÉRCOL DE GANADO EN EL RANCHO VERÓNICA. 25. (E. S. CHIMBORAZO, Ed.) Riobamba, Ecuador.

Varnero Moreno, M. (2011). *Manual de biogás*. Proyecto CHI/00/G32 "Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables", Ministerio de Energía del Gobierno de Chile, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Santiago de Chile.

- Vásquez, D. (2008). Producción y evaluación de cuatro tipos de bioabonos como alternativa biotecnológica de uso de residuos orgánicos para la fertilización de pastos. 28. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Wang, A., Li, W., & Yu, H. (2012). Advances in Biogas Technology. *Biochem Engin / Biotechnol*(128), 119-141.
- Youngfu, Y. Y. (1989). The biogas technology in China. *Agricultural Publishing House. Beijing, p 20-54, 20-54.*
- Zhang, R. E.-M. (2007). Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. *Bioresource technology*, 98(4), 929-935.

ANEXOS

ANEXO I. Resultado de análisis de laboratorio de estiércol bovino



MSV
LABORATORIO
Análisis de alimentos, aguas y suelos

INFORME DE RESULTADOS

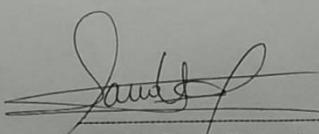
Informe N°: **MSV-IE 00218**
Orden de ingreso: **OI-578-17**

CLIENTE: Alexander Durazno.	LOTE: N/A
DIRECCIÓN: La Prensa.	FECHA DE RECEPCIÓN: 20/12/2017
IDENTIFICACION: Bioabono B1	FECHA DE ANALISIS: 21/12/2017-03/01/2018
PROCEDENCIA: Fermentación de Materia Orgánica de Vaca.	FECHA DE ENTREGA: 04/01/2018
TIPO DE MUESTRA: Abono	FECHA DE ELAB/TOMA: 16/12/2017
CODIGO DE LA MUESTRA: 17578	FECHA DE CAD: N/A
TIPO DE ENVASE: Frasco de Polietileno	FORMA DE CONSERVACION: N/A
	MUESTREO: Por el cliente

ENSAYOS FISICOQUIMICOS

PARAMETRO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS
FOSFORO	ESPECTROFOTOMETRIA UV-Vis	mg/Kg	573.94
NITROGENO	Kjeldahl	mg/Kg	746.36
POTASIO	ABSORCIÓN ATÓMICA	mg/Kg	879.43

**Resultado proporcionado por laboratorio subcontratado.



Dra. Sandra Guaraça Maldonado
GERENTE DE LABORATORIO



Los resultados expresados en este informe tienen validez solo para la muestra recibida en el laboratorio, no siendo extensivo a cualquier lote. Este informe no será reproducido sin la aprobación del Gerente Técnico. Los valores de incertidumbre se encuentran disponibles en el laboratorio MSV.

Página 1 de 1

FMC2101-05
CB Dirección: Avda. Las Américas y Turuhuaico (Redondel Miraflores 3er Piso)
Telf: 4045127 Cel: 0995 354 172 e-mail: sandraegm@hotmail.com

ANEXO II. Resultado de análisis de laboratorio de estiercol porcino


Análisis de alimentos, aguas y suelos

INFORME DE RESULTADOS

Informe N°: MSV-IE 09518
Orden de Ingreso: OI-043-18

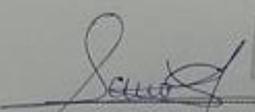
CLIENTE: Alexander Durazno
DIRECCIÓN: La Prensa
IDENTIFICACION: Bioabono
PROCEDENCIA: Fermentación de Materia Orgánica de Cerdo
TIPO DE MUESTRA: Abono
CODIGO DE LA MUESTRA: 18043
TIPO DE ENVASE: Frasco de Polietileno

LOTE: N/A
FECHA DE RECEPCIÓN: 07/02/2018
FECHA DE ANALISIS: 08/02/2018-16/02/2018
FECHA DE ENTREGA: 26/02/2018
FECHA DE ELAB/TOMA: 07/02/2018
FECHA DE CAD: N/A
FORMA DE CONSERVACION: N/A
MUESTREO: Por el cliente

ENSAYOS FISICOQUIMICOS

PARAMETRO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS
FOSFORO TOTAL	ESPECTROFOTOMETRIA UV-Vis	mg/Kg	1383.80
NITROGENO	Kjeldahl	mg/Kg	1544.29
POTASIO	ABSORCIÓN ATÓMICA	mg/Kg	2044.63

**Resultado proporcionado por laboratorio subcontratado.


Dra. Sandra Guaraca Maldonado
GERENTE DE LABORATORIO

Los resultados expresados en este informe tienen validez solo para la muestra recibida en el laboratorio, no siendo extensivo a cualquier lote. Este informe no será reproducido sin la aprobación del Gerente Técnico. Los valores de incertidumbre se encuentran disponibles en el laboratorio MSV.

Página 1 de 1

FMC2101-05
LD Dirección: Avda. Las Américas y Turuhuaico (Redondel Miraflores 3er Piso)
Telf: 4045127 Cel: 0995 354 172 e-mail: sandraegm@hotmail.com

ANEXO III. Suelo después de la aplicación de bioabono bovino

