



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA
PRODUCCIÓN DE UN BIOABONO A PARTIR DE ESTIÉRCOL
DE GANADO VACUNO EN EL RELLENO SANITARIO DEL GAD
MUNICIPAL DEL CANTÓN LA JOYA DE LOS SACHAS**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTOR: HENRY MAURICIO REA GALEAS

TUTOR: ING. HANNÍBAL BRITO

Riobamba – Ecuador

2018

© 2018, Henry Mauricio Rea Galeas

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el derecho de autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE UN BIOABONO A PARTIR DE ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO EN EL RELLENO SANITARIO DEL GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN LA JOYA DE LOS SACHAS**, de responsabilidad del señor Henry Rea, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Ing. Hanníbal Brito

.....

.....

**DIRECTOR DE TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Ing. Diego Burbano

.....

.....

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Yo, **Henry Mauricio Rea Galeas** declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 07 de Febrero 2018

.....
Henry Mauricio Rea Galeas

C.I. 220004156-0

Yo, Henry Mauricio Rea Galeas soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el trabajo de titulación y el patrimonio intelectual del trabajo de titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

HENRY MAURICIO REA GALEAS

C.I. 220004156-0

DEDICATORIA

Dedico principalmente este trabajo a DIOS ya que es el último escalón para poder empezar la vida profesional y quien ha guiado mi camino.

A mis padres ya que son los pilares fundamentales en este logro, el apoyo incondicional y saber que se sienten muy orgullosos de cada meta que cumpla. A mis hermanos que son mi ejemplo y que sobre todo siempre puedo contar con ellos

A toda mi familia y amigos/as que han sumado un granito de arena en esta meta.

H.R

AGRADECIMIENTO

Agradecer a DIOS por guiarme y así poder culminar después de un largo camino la carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental.

Agradecer a mi familia por el apoyo incondicional ya que son ellos mi motivación en cada paso que llevo dando en mi vida.

Agradecer a cada uno de los docentes que han sido parte de mi vida estudiantil y sobre todo al Ing. Hanníbal Brito, Ing. Diego Burbano por el apoyo brindado ya que con su experiencia profesional han podido guiarme durante todo el trabajo de titulación.

Agradecer al GADM del Cantón Joya de los Sachas por abrirme las puertas y así poder investigar y ayudar a dar solución un problema, las facilidades el apoyo y la paciencia brinda han sido un apoyo muy importante para poder trabajar.

TABLA DE CONTENIDOS

	Pp.
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. Residuos Solidos	5
<i>1.1.1. El estiércol.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.1.2. Contaminación por el estiércol.....</i>	<i>7</i>
<i>1.1.1.2 Ventajas y desventajas del estiércol.....</i>	<i>7</i>
<i>1.1.1.2.1. Desventajas</i>	<i>7</i>
<i>1.1.1.2.2. Ventajas.....</i>	<i>8</i>
<i>1.1.1.3. Acción del estiércol en el suelo.....</i>	<i>8</i>
<i>1.1.1.4. Composición del estiércol.....</i>	<i>9</i>
<i>1.1.1.5. Usos potenciales del estiércol.....</i>	<i>10</i>
<i>1.1.1.6. Tratamientos aplicables a los estiércoles.</i>	<i>10</i>
<i>1.1.1.6.1. Tipos de tratamientos</i>	<i>11</i>
<i>1.1.1.7. Estiércol de bovino (vacuno)</i>	<i>12</i>
1.2. Biodigestor	13
<i>1.2.1. Ventajas y desventajas de los biodigestores.....</i>	<i>13</i>
<i>1.2.1.1. Ventajas.....</i>	<i>13</i>
<i>1.2.1.2. Desventajas</i>	<i>14</i>
1.2.2. Componentes del biodigestor	15
<i>1.2.2.1. Cámara de digestión</i>	<i>15</i>
<i>1.2.2.2. Sistema de carga.</i>	<i>15</i>
<i>1.2.2.3. Sistema de descarga.....</i>	<i>15</i>
<i>1.2.2.4. Cámara de gas o gasómetro.</i>	<i>15</i>
<i>1.2.2.5. Sistema de purificación del biogás.</i>	<i>15</i>
1.2.3. Clasificación de biodigestores.....	16
<i>1.2.3.1. Biodigestores discontinuos.....</i>	<i>16</i>
<i>1.2.3.2. Biodigestores Semi-continuos.</i>	<i>17</i>

1.2.3.3. Biodigestores continuos o de mezcla completa.....	17
1.2.3.3.1. Modelo Chino.....	17
1.2.3.3.2. Modelo Horizontal.....	17
1.2.4. Degradación anaeróbica.....	18
1.2.4.1. Parámetros para considerar en la degradación anaeróbica.....	19
1.3. Bioabonos.....	20
1.3.1. Abonos Inorgánicos.....	20
1.3.1.1. Fertilizantes minerales.....	20
1.3.1.2. Abonos líquidos y para fertirrigación.....	20
1.3.2. Abonos Orgánicos.....	21
1.3.2.1. Usos y Beneficios.....	21
1.3.2.2. Tipos de abonos orgánicos.....	22
1.3.3. Productos del Biodigestor.....	22
1.3.3.1. Biol.....	22
1.3.3.1.1. Ventajas del Biol.....	23
1.3.3.2. Biogás.....	23
1.3.3.3. Biosol.....	24
1.3.3.3.1. Ventajas en el uso del Biosol (fertilizante sólido).....	25
CAPÍTULO II	
2. METODOLOGÍA.....	27
2.1 Zona de estudio.....	27
2.1.1 Lugar de la investigación.....	27
2.1.2. Ubicación geográfica.....	28
2.1.2.1. Recinto Ferial – Cantón Joya de los Sachas.....	28
2.1.2.1. Relleno Sanitario – Cantón Joya de los Sachas.....	29
2.2 Tipo de investigación.....	29
2.2.1 Parámetros de estudio.....	29
2.2.3 Esquema del proceso.....	30
2.2.3.1 Procedimientos.....	31
2.2.3.1.1. Plan de muestreo del estiércol.....	31
2.2.3.1.2. Determinación de la producción semanal de estiércol.....	33
2.2.3.1.3. Cálculo de los parámetros para el dimensionamiento del biodigestor.....	33
2.2.3.1.4. Pruebas de hermeticidad del biodigestor.....	36

2.2.3.1.5. Prueba de flama.....	36
2.2.3.1.6. Análisis del biol producido por los biodigestores	36
2.2.3.1.7. Análisis comparativo de las características fisicoquímicas del biol obtenido de los tanques de biodigestión.....	37
2.2.3.1.8. Calculo de los costos de implementación.	38

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
3.1. Análisis de las muestras de estiércol de vaca	39
3.2. Producción de estiércol semanal	40
3.3. Dimensionamiento del biodigestor.....	41
<i>3.3.1. Relación C/N de la mezcla</i>	<i>43</i>
<i>3.3.2. Tiempo de retención teórico.....</i>	<i>44</i>
3.4. Construcción y operación del biodigestor	44
<i>3.4.1. Caracterización fisicoquímica del biol</i>	<i>50</i>
3.5. Costos de implementación	54
<i>3.5.1. Costos directos</i>	<i>54</i>
<i>3.5.2. Costos indirectos.....</i>	<i>56</i>
<i>3.5.3. Costo total.....</i>	<i>57</i>
3.6. Propuesta final.....	57
CONCLUSIONES.....	62
RECOMENDACIONES.....	63
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pp.
Figura 1-1. Estructura de un biodigestor.....	13
Figura 2-1. Proceso de degradación anaerobia	19

ÍNDICE DE GRÁFICO

	Pp.
Gráfico 1-2. Esquema del Proceso	30
Gráfico 1-3. Ubicación de la planta de biodigestión dentro del relleno sanitario.....	58
Gráfico 2-3. Distribución de la planta de biodigestión para el relleno sanitario.....	59
Gráfico 3-3. Vista frontal y superior de los biodigestores	60
Gráfico 4-3. Diseño de canaletas para la evacuación de agua lluvia de la planta de biodigestión	61

ÍNDICE DE TABLAS

	Pp.
Tabla 1-1. Composición química de los estiércoles frescos de cinco animales de consumo (% materia seca).	10
Tabla 2-1. Producción de estiércol fresco diario.....	12
Tabla 3-1. Composición del biogás.....	24
Tabla 4-1. Características generales del biosol fresco (Fertilizante Sólido) después la fermentación de estiércol de vacuno.....	25
Tabla 1-2. Determinación de la cantidad semanal de estiércol, para el dimensionamiento del biodigestor.....	31
Tabla 2-2. Porcentaje de C y N de melaza, suero de leche y ceniza	35
Tabla 1-3. Resultados de los análisis de las muestras de estiércol.....	39
Tabla 2-3. Cuantificación de estiércol de vaca durante 3 semanas.	40
Tabla 3-3. Promedio de la producción semanal de estiércol de vaca.....	41
Tabla 4-3. Parámetros considerados en el dimensionamiento del biodigestor.....	43
Tabla 5-3. Materiales y cantidades utilizadas para la construcción de 3 biodigestor.....	44
Tabla 6-3. Ingredientes y cantidades utilizadas para la primera carga del biodigestor.	48
Tabla 7-3. Resultados de los análisis de las muestras de biol de los 3 biodigestores.....	52
Tabla 8-3. Cálculo de media aritmética y desviación estándar.	53
Tabla 9-3. Cálculo del coeficiente de variación.....	53
Tabla 10-3. Costo de materiales y herramientas.	55
Tabla 11-3. Costo de mano de obra.....	55
Tabla 12-3. Costo total directo.....	55
Tabla 13-3. Costos de las herramientas para la toma de muestras	56

Tabla 14-3. Costo de análisis de laboratorio.....	56
Tabla 15-3. Costo total indirecto.....	57
Tabla 16-3. Costo total indirecto.....	57

ÍNDICE DE MAPAS

	Pp.
Mapa 1-2. Zona de recolección del estiércol de ganado vacuno	28
Mapa 2-2. Zona de implementación del biodigestor	29

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Pp.
Fotografía 1-2. Recolección de estiércol para su posterior análisis fisicoquímico y bacteriológico.	32
Fotografía 2-2. Pesaje del estiércol producido diariamente en el recinto ferial.....	33
Fotografía 3-2. Recolección de muestras de biol una vez finalizado el proceso de fermentación	37
Fotografía 1-3. Instalación de la entrada de carga y salida de biol en el biodigestor.....	45
Fotografía 2-3. Sistema de evacuación de gases del biodigestor.....	46
Fotografía 3-3. Abrazadera metálica y empaque de caucho utilizados para el cierre hermético del tanque	46
Fotografía 4-3. Prueba de hermeticidad ejecutada a los biodigestores.	47
Fotografía 5-3. Colocación de las vigas de madera y alambre para la implementación de la cubierta para los biodigestores	47
Fotografía 6-3. Construcción finalizada de los biodigestores y su respectiva cubierta.	48
Fotografía 7-3. Pesaje de ingredientes para la elaboración de la carga inicial del biodigestor..	49
Fotografía 8-3. Mezcla de los ingredientes de carga e implementación final de los biodigestores	49
Fotografía 9-3. Recolección de muestras de biol una vez finalizado el proceso de fermentación.	51

RESUMEN

En el presente trabajo técnico se implementó un biodigestor para la producción de un bioabono a partir de estiércol de ganado vacuno en el relleno sanitario del GAD Municipal del Cantón La Joya de los Sachas, con estiércol proveniente del recinto ferial. Por espacio y disponibilidad el proyecto se lo realizó en las instalaciones del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal. Para esto se determinó la producción semanal de estiércol, recolectando y pesando la cantidad acumulada los días de feria en el recinto, se realizó un análisis fisicoquímico y bacteriológico para determinar su calidad, para el dimensionamiento del biodigestor se calculó el tiempo de retención, la cantidad de sustrato a utilizarse y la relación C/N, el biol obtenido se caracterizó para determinar su calidad. Se determinó que se produce una media semanal de 150 kg de estiércol, los análisis de laboratorio indicaron que el estiércol es apto para el proceso de biodigestión al obtener una relación C/N de 11.5, se optó por construir un biodigestor de tipo discontinuo, el cual está conformado por un tanque de 200 L donde se colocó un total de 180 kg de sustrato, de los cuales 120 l corresponden al agua, 50 kg al estiércol, 4 kg para ceniza de leña, 2 l para melaza y 4 l para el suero de leche, el sustrato final registró una relación C/N de 14 y el tiempo de retención fue de 42 días; en total se implementó 3 biodigestores, de cada uno de ellos se obtuvo 140 litros de biol, mismo que presentó una coloración verde oscura sin presencia de sólidos y grumos de estiércol, con un olor a fermento y no a putrefacción, la relación C/N del biol fue de 11.58, inferior a la inicial registrada por el sustrato, indicativo de un biol de calidad, además el pH registrado de 7.1 se encuentra dentro del rango óptimo de funcionamiento para este tipo de biodigestores, estas características hacen del bioabono apto para ser aplicado en cultivos agrícolas, plantas ornamentales entre otros.

Palabras clave: <BIOTECNOLOGÍA>, <BIODIGESTOR>, <BIOABONO>, <BIODIGESTIÓN>, <pH>, <ESTIERCOL>, <RELACIÓN C/N>, <TIEMPO DE RETENCIÓN>, <DISCONTINUO>, <SUSTRATO>.

ABSTRACT

A biodigester was implemented for the production of a biofertilizer from cattle manure in the municipal landfill of the Municipal GAD of La Joya de los Sachas, with livestock manure from the fairgrounds. The weekly production of manure was determined, collecting and weighing the accumulated amount on the days of fair in the enclosure, a physicochemical and bacteriological analysis was carried out to determine its quality, for the sizing of the biodigester the retention time was calculated, the amount of substrate to be used and the ratio C / N the biol obtained was characterized for its quality. It was determined that a weekly average of 150 kg of manure is produced, the laboratory analyzes indicated that the manure is apt for the process of biodigestion when obtaining a C/N ratio of 11.5, it was decided to build a biodigester of discontinuous type, the which is made up of a tank of 200 l. where a total of 180 kg of substrate was placed, of which 120 l correspond to water, 50 kg to the manure, 4 kg to wood ash, 2 l to molasses and 4 l to the milk serum, the final substrate registered a C/N ratio of 14 and the retention time was 42 days; In total, 3 biodigesters were implemented, from each of them 140 liters of biol was obtained, which presented a dark green coloration without the presence of solid and lumps of manure, with a smell of ferment and not putrefaction, the C/N ratio of the biol was 11.58, lower than the initial recorded by the substrate, indicative of a quality biol other the registered pH of 7.1 is within the optimum range of operation for this type of biodigesters, these characteristics make the biofertilizer suitable for being applied in agricultural crops, ornamental silvers among others.

Key Words: <BIOTECHNOLOGY>, <BIODIGESTOR>, < BIOFERTILIZER >, <HYDRODENOUS POTENTIAL (Ph)>, <MANURE> C/N) RATIO>, <RETENTION TIME>, <DISCONTINUOUS>.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo industrial durante el siglo pasado ha beneficiado a varios países permitiéndoles alcanzar un grado de desarrollo tanto económico como social importante, a pesar de esto dichos países han ignorado las consecuencias ambientales producidas por este desarrollo, como es la contaminación de los recursos naturales y sus elementos básicos aire tierra y agua, por tal motivo aunque tarde, tanto el mantenimiento como la recuperación del ambiente es uno de los grandes desafíos que tiene el planeta y sus habitantes para el siglo presente.

A la par del desarrollo industrial antes mencionado se ha dado un crecimiento poblacional significativo, población que para su subsistencia requiere de una ingente cantidad de recursos, dentro de estos tenemos los alimenticios los cuales abarcan una gran variedad productos, siendo la proteína de origen animal uno de los principales requerimientos, obtener el producto final engloba una cadena de producción amplía hasta llegar a la mesa de los hogares para ser consumidos, una de las etapas de mayor importancia en dicha cadena es la crianza del ganado, donde el manejo del mismo generalmente es idóneo para abastecer las necesidades internas, el problema radica en la falta de manejo que se dan a los residuos orgánicos producidos por el ganado, esto trae como consecuencia problemas ambientales que no deben ser ignorados.

El manejo de los residuos ganaderos con el pasar del tiempo ha ganado una mayor relevancia tomando en cuenta el grave problema que representa, no solamente por el incremento de los volúmenes generados, consecuencia obvia del aumento de la producción para satisfacer las necesidades poblacionales y la oferta de una gran variedad de subproductos, pero una de las principales razones son las enfermedades que aquejan a la salud del ser humano y animal que se encuentran directamente relacionadas por un mal manejo de los residuos orgánicos, esto se debe a que los residuos provenientes de la producción ganadera son variados, se conforman de deyecciones sólidas-liquidas y residuos de alimentación, fitosanitarios, de antibióticos, restos de embalajes entre otros (Rodríguez, 2002).

La capacidad contaminante de estos residuos viene dada por parámetros como la materia orgánica, el nitrógeno, el fósforo, metales pesados y de forma particular el cobre, destacando la materia orgánica ya que el potencial contaminante que se puede producir es elevado, esto a pesar que desde hace mucho tiempo estos residuos se han utilizado como abonos fertilizantes, principalmente el estiércol, ya que se le ha recocado beneficios tales como el aporte de nutrimentos a las plantas y mejora las capacidades físico-químicas del suelo (Gabler, 2011).

A pesar de las características antes mencionadas del estiércol, varios estudios realizados por investigadores ambientales y agropecuarios indicaron los problemas del uso de abonos orgánicos, principalmente por acción del agua, por la contaminación producida por los lixiviados de nitratos

y en el aire por la generación de gases y olores, en este sentido la generación de gases es uno de los problemas que más relevancia ha adquirido por su implicación en el calentamiento global y por ende el cambio climático, ya que estos gases son precursores del efecto invernadero principalmente el óxido nitroso que es un gas 296 veces más contaminante que el dióxido de carbono (Gabler, 2011).

En función a lo antes expuesto, tanto gobiernos locales como organizaciones internacionales, han promovido y apoyado la implementación de medidas que permitan mitigar la generación de los gases de efecto invernadero, una de estas medidas con el fin de disminuir las emisiones del gas fue la quema controlada del mismo, dicha medida no es eficiente ya que se desaprovecha el verdadero potencial que se puede obtener de los estiércoles con el uso de técnicas que aporten una mayor utilidad, como por ejemplo para la producción de biogás, biol o biosol (Chávez. et al., 2014), en este contexto se ha priorizado el uso del estiércol de ganado vacuno ya que este es el que más se genera en los sistemas de producción ganadera, por lo que se puede tener un abastecimiento continuo de los estiércoles que permitiría una producción continua de los productos antes mencionados.

Dentro de las variadas alternativas que permiten manejar los residuos orgánicos ganaderos como los estiércoles, está la implementación de biodigestores anaerobios, que a partir de la digestión microbiana en ausencia de oxígeno permite producir productos orgánicos amigables con el ambiente no contaminantes como es el biogás y el biol (Brito. et al., 2016), de esta forma se da un valor agregado a los estiércoles de ganado vacuno cuyo destino final es su acumulación en un relleno sanitario, terrenos baldíos o recursos hídricos, a más de obtener una energía renovable y un eficiente fertilizante es importante mencionar el beneficio a nivel sanitario, ya que el uso del biodigestor ayuda en forma eficiente a la descontaminación, ya que se evita la acumulación de los estiércoles al aire libre, de esta forma se suprime la masificación de moscas, mosquitos, otros insectos y de roedores que generalmente portan peligrosas enfermedades (Silva, 2013).

Los procesos anaerobios son capaces de reducir del 90% al 99% los más importantes patógenos animales como el estafilococos, la salmonella y las pseudomonas, dicha disminución es muy relevante con relación al saneamiento ya que es posible regular la temperatura de fermentación y el número de días que la biomasa está dentro del digestor (Hilbert, 2003), tomando en cuenta todo lo mencionado el presente trabajo investigativo busca dar un manejo adecuado a los estiércoles acumulados en el relleno sanitario del GAD Municipal del Cantón Joya de los Sachas a partir de la implementación de un biodigestor discontinuo económicamente viable, que permita aprovechar dichos residuos produciendo un biol de calidad.

Justificación de la investigación

El relleno sanitario del cantón Joya de los Sachas recibe semanalmente los residuos ganaderos del recinto ferial perteneciente a la asociación de ganaderos del mismo, el municipio como tal está encargado de la limpieza y posterior manejo de los residuos, los cuales están compuestos en su mayoría por estiércol de ganado vacuno, estos por su acumulación han ocasionado el incremento de malos olores, mosquitos y roedores que son vectores de transmisión de enfermedades, además de la evidente contaminación que se produce en los recursos suelo y agua, a esto se suma el incumplimiento que se da a la Normativa de Calidad Ambiental para el Manejo y Disposición Final de Desechos Sólidos no Peligrosos según la Ley de Gestión Ambiental Ecuatoriana vigente; una forma de aprovechar estos residuos y disminuir la contaminación que producen es la implementación de métodos de degradación aerobios o anaerobios, los cuales en función a parámetros específicos como la cantidad de residuos, sus características físico químicas o el lugar de implementación, se pueden implementar obteniéndose abonos orgánicos de calidad como el biol o el compost aprovechando la totalidad de los residuos generados.

La implementación de un biodigestor es una alternativa idónea y económicamente viable para el manejo del estiércol del ganado vacuno, ya que es un sistema ecológico que permite reciclar en su totalidad los residuos ganaderos, en este caso específico el estiércol, a través de un proceso de degradación de anaerobia, donde los beneficios ambientales obtenidos son varios pero entre los más destacables tenemos, la protección del aire al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero al ambiente, el agua ya que se evita la contaminación de la misma por lixiviados y escurrimientos y la obtención del biol como producto final del proceso de digestión anaerobia, mismo que puede ser utilizado como fertilizante en plantas y cultivos, permitiéndoles soportar de mejor manera el ataque de plagas y enfermedades, incrementa la fertilidad de los suelos, lo que se ve reflejado en productos de calidad, a más que su aplicación es sencilla y rápida, de forma complementaria el proceso anaerobio a más de suprime la carga contaminante, reduce los malos olores y en su mayoría elimina los gérmenes y microorganismos patógenos de los residuos.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

General:

- Implementar un biodigestor para la producción de un bioabono a partir de estiércol de ganado vacuno en el relleno sanitario del GAD Municipal del Cantón La Joya de los Sachas.

Específicos:

- Determinar las características físicas, químicas y microbiológicas del estiércol vacuno del recinto ferial.
- Diseñar el biodigestor determinando las principales variables (temperatura, relación C/N) que intervienen en el proceso de fermentación anaerobia.
- Construir el biodigestor diseñado de acuerdo con las condiciones del lugar y materia prima.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Residuos Solidos

Un buen manejo de los residuos ganaderos y una apropiada redistribución de estos hace que solo sean considerados como residuos los excedentes que no ha sido posible reciclar en el ciclo normal de manejo, la falta de optimización y ejecución de dicho ciclo ha ocasionado graves problemas ambientales, con lo que respecta a masificación ganadera, esta ha ocasionado que se pongan de manifiesto una serie de problemáticas, las cuales se detallan a continuación:

- Concentración de explotaciones en zonas concretas.
- Concentración de residuos en unas zonas concretas.
- Concentración en estas zonas de infraestructura de industrias y servicios, mataderos, industria cárnica, etc.
- Creación de riqueza.
- Estabilidad y aumento de población (Rodríguez, 2002).

En función a lo expuesto nace la siguiente interrogante si la agricultura y la ganadería podrían llegar a ocasionar problemas de contaminación graves en el ambiente, se puede decir que de acuerdo con lo antes expuesto varios de los procesos de industrialización son contaminantes y que a pesar que la actividad ganadera no es la principal contaminante del ambiente, forma parte de esta, la producción ganadera es responsable de un cierto porcentaje del efecto invernadero, debido a la generación de metano y dióxido de carbono (Rodríguez, 2002).

Ha nivel social, la ganadería a tratado de:

- Garantizar el suministro de alimentos en precios ajustados a la realidad económica, es decir ofertar proteína con un valor biológico de calidad a bajo precio.
- Mejorar el nivel de vida en la población rural, impidiendo de esta forma la migración hacia las ciudades. En función a lo antes mencionado se ha determinado en la región una apreciable disminución económica en los centros agropecuarios de área pequeña (Rodríguez, 2002).

Sin embargo, hay situaciones paralelas a la producción que merecen citarse:

- Consecuencias por los excesos en los niveles de producción, con el daño producido a los recursos naturales, ya que la producción ganadera depende en parte de la agrícola para producir los alimentos necesarios para la cría del ganado, muchos de estos son ciclos de cosechas interanuales por lo que la presión a los suelos es evidente, ya que de esto dependerá los tiempos de producción y abastecimiento de la proteína animal.
- El uso sistemático de productos veterinarios ha producido problemas de resistencia, por lo cual los tratamientos deben ser más repetitivos y con un elevado costo, incrementando los riesgos de contaminación. A su vez el aumento de la cantidad de animales incrementa la dispersión de enfermedades y la eliminación de residuos que en conjunto con la aplicación de fertilizantes ocasionan la eutrofización del recurso hídrico y al suelo, todo ello ocasiona daños al ecosistema afectando a la población humana (Rodríguez, 2002).

1.1.1. El estiércol

A las expulsiones sólidas de los animales se las conoce como estiércol, por su parte una composición de estiércol, agua de lavado y orina se los denomina purines. Dentro de lo que respecta a la forma química del estiércol indistintamente de la especie que sea, ésta va a depender de las cantidades de los diferentes ingredientes que se encuentran incluidos en el contenido perteneciente a los nutrimentos, la respectiva dieta, por los agregados como las enzimas y la cantidad de alimento que se va consumiendo, también de la biodisponibilidad tanto de minerales como de los aminoácidos (García, 2000).

Puede existir una variación en lo que se refiere a la relación C/N, esto se puede dar por el tipo de manejo que se le da al ganado, el tipo de instalaciones en las que se hallan los animales, el tiempo que dura el almacenamiento del estiércol ya que en función a esto se origina desgastes de nitrógeno y por motivo del secado la respectiva pérdida de humedad. Una gran ventaja del estiércol es que al ser añadido al suelo permite aumentar la capacidad de conservación de humedad, mejorara la actividad biológica y la aportación de nutrientes, y por ende aumenta la producción del suelo y su fertilidad (Pazmiño, 2012).

El estiércol ovino, aviar, vacuno, porcino y de otros animales domésticos pueden llegarse a descomponer de manera automática pero lenta, este proceso se puede acelerar al incorporar material vegetal, ya que se encarga de contribuir con nitrógeno y de esta forma se incita al proceso de descomposición. La materia orgánica que forma parte de los estiércoles se descompone y transforma por acción de los microorganismos una vez que se han añadido al suelo. El dióxido de

carbono es el resultado del proceso de transformación de una parte del carbono, esto no ayuda a acrecentar de manera perdurable el contenido de materia orgánica del suelo. Un porcentaje relativamente alto del contenido total en nutrientes se halla a manera de complejos orgánicos, los mismos que deben ser mineralizados antes de que estos procedan a liberar los nutrientes asimilables (Pazmiño, 2012).

1.1.1.2. Contaminación por el estiércol

Uno de los responsables del efecto invernadero en el mundo es el sector ganadero, siendo este aún más perjudicial que el sector transportista, según la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2006). El sector pecuario se encarga de producir mayor cantidad de gases de efecto invernadero, y siguiendo un proceso de medición en su equivalente en dióxido de carbono (CO₂) son extremadamente más altos que el sector del transportista. A pesar de esto la parte ganadera no se convierte exclusivamente en una amenaza para el medio ambiente, más bien se transforma en una de las causas principales de la degradación de los recursos hídricos y del suelo. Del CO₂ proveniente de las actividades humanas, el sector netamente ganadero es el principal responsable de un 9% del total, y este a su vez origina un porcentaje más alto acerca de los gases de efecto invernadero dañinos. Además, este sector se encarga de generar el 65% del óxido nitroso de origen humano, que posee 296 veces más Potencial de Calentamiento Global que el CO₂, la gran parte o la mayoría de este gas proviene del estiércol, así lo explican varios expertos (Toala, 2013).

El sustento para 1.300 millones de individuos en el mundo es el sector ganadero y forma parte de cerca del 40% de la industria agrícola a nivel mundial. Para varios campesinos de escasos recursos localizados en países en desarrollo, al ganado se lo considera como una fuente de energía principalmente en fuerza de tiro y además se le considera como fuente principal de fertilizante orgánico para la cosecha. el estiércol en el lapso de varios años se lo ha venido manejando como abono natural útil para la fertilización del suelo, suministrándole los nutrientes esenciales, por ende, se logró destinar a gran parte de los suelos de cultivos, mediante el compostaje para favorecer en la fertilización de los mismos (FAO, 2006).

1.1.1.2 Ventajas y desventajas del estiércol

1.1.1.2.1. Desventajas

- Una de las desventajas debido a la masiva actividad ganadera en las zonas rurales y al inapropiado manejo que se les da a los estiércoles, es que forman grandes depósitos de

deyecciones, originándose impactos irreversibles al ambiente, se puede producir la propagación de enfermedades que dañan al ganado y también afecta a las personas que viven de esta actividad.

- Se genera una bioacumulación en la zona debido a que el estiércol puede llegar a tener en su composición un alto contenido de pesticidas, antibióticos, etc., dificultando el correcto manejo de la fertilización del suelo.
- Puede existir compost de mala calidad o a su vez un desequilibrio del compost, fusionando de una manera incorrecta estiércoles con un alto porcentaje de macronutrientes, en conjunto con otros materiales de menor contenido (Durán, 2004).

1.1.1.2.2. Ventajas

- La disposición y el buen manejo del estiércol mediante el proceso del compostaje tanto en la ganadería como en la agricultura, sería benéfico al resolver diferentes problemas entre una y otra actividad agropecuaria. Un claro ejemplo es la baja fertilidad de los suelos y el depósito en exceso del excremento del ganado.
- El correcto proceso de compostaje o de fermentación del estiércol, es beneficioso mediante la producción de un material nutritivo apto para los suelos y las plantas de cultivos. Influyendo de una manera positiva con ventajas en el sector agropecuario en específico.
- Un estiércol que ha recibido un proceso de compostaje origina una alta cantidad de humus, por ende, incrementa la actividad microbiana, esto no sucede cuando se aplica de forma directa al suelo, sin que el mismo haya recibido un tratamiento previo (Durán, 2004).

1.1.1.3. Acción del estiércol en el suelo

En el suelo la acción del estiércol tiene una labor benefactora, ya que principalmente optimiza las características fisicoquímicas, suministrando los nutrientes esenciales, incrementando notablemente la calidad y contenido de la materia orgánica. Dependiendo del lugar donde se desarrollan los animales, de la especie y el tipo de alimento suministrado por los propietarios se obtendrá un excelente estiércol, haciendo que su estructura aumente entre un 30 y 80 por ciento de los tenores orgánicos, mediante una aplicación en repetidas ocasiones y de forma constante el estiércol será el encargado de incrementar en el suelo el contenido de humus, y con ello que también se acreciente la actividad microbiana. Un proceso de estercolado en la condición física de los suelos influye de manera adecuada, se han conseguido significativas depreciaciones de la densidad aparente, progresos en la capacidad de retención de agua, acrecentamiento de los

espacios intersticiales del suelo, y la macro porosidad mediante la incorporación de varios tipos de estiércol al suelo (Toala, 2013).

Debido a la gran actividad microbiana que tiene el estiércol nos resulta adecuado para la condición orgánica del suelo, provocando que exista diversas evoluciones químicas efectuadas en el suelo y el estiércol, lo cual hace que varios elementos que son catalogados como no servibles por las plantas logren ser aprovechados, incrementando la población en especies de animales edáficos y su actividad. Los estiércoles son denominados fertilizantes orgánicos naturales, ya que varios de los campesinos prefieren los fertilizantes químicos industriales, manifestando que poseen mayor eficiencia en un lapso corto de tiempo al ser suministrado en los cultivos y los suelos, mientras aluden que el fertilizante natural es totalmente diferente, los buenos resultados se logran observar a un periodo de tiempo largo, conservando el suelo agrícola totalmente listo para el cultivo (Toala, 2013).

1.1.1.4. Composición del estiércol

El estiércol se lo conoce por no ser considerado como un abono de composición netamente fija, mismo que se encuentra en función de la procedencia y la edad de los animales del cual viene, así como también de la alimentación a la que están expuestos los animales, de la especie, trabajo que realizan, capacidad, estructura de camas y naturaleza etc. En comparación con un animal viejo, los animales jóvenes son aquellos que consumen grandes cantidades de fósforo y nitrógeno; las deposiciones de estos últimos contienen una baja cantidad de dichos componentes químicos. Los animales viejos una vez terminado su proceso de crecimiento, se encargan de realizar una correcta incorporación de los alimentos, en las cantidades adecuadas para en lo posible tratar de que las pérdidas obtenidas sean cubiertas, como resultados se obtienen estiércoles extremadamente ricos en estos compuestos para la fertilización. En la orina del ganado tenemos como resultado un excedente de nitrógeno (N) pero principalmente de potasio (K), una gran variedad de animales origina deyecciones donde su estructura química es variada, los orines contienen un porcentaje menor de ácido fosfórico, la mayor parte se encuentra localizada en los excrementos sólidos (Tabla 1-1) (Suquilanda, 1995).

Tabla 1-1. Composición química de los estiércoles frescos de cinco animales de consumo (% materia seca).

Nutrientes	Vacunos	Porcinos	Caprinos	Conejos	Gallinas
Materia Orgánica (%)	48.9	45.3	52.8	63.9	54.1
Nitrógeno Total (%)	1.27	1.36	1.55	1.94	2.38
Fosforo Asimilable (P₂O₅ %)	0.81	1.98	2.92	1.82	3.86
Potasio (K₂O %)	0.84	0.66	0.74	0.95	1.39
Calcio (CaO %)	2.03	2.72	3.2	2.36	3.63
Magnesio (MgO %)	0.51	0.65	0.56	0.45	0.77

Fuente: Suquilanda (1995)

Las composiciones de las porciones alimentarias influyen dentro de la estructura del estiércol, mientras más exquisitas son estas porciones en ciertos elementos, mayor es la cantidad que se va a hallar en los excrementos, además las camas que también se mezclan con el estiércol, influyen dependiendo de su cantidad y composición (López y Antonio, 2003).

1.1.1.5. Usos potenciales del estiércol

El uso del estiércol por varias generaciones agrícolas y ganaderas principalmente ha sido orientado para la producción del compost, con este tipo de procesos el resultado esperado es el de conseguir un producto parcial o totalmente libre de gérmenes patógenos, neutralizando malos olores, elaborando sustancias húmicas parecidas a las del suelo y de esta manera beneficiar a la fertilización de los cultivos. Dentro de los usos del estiércol, éste no solo es útil para la fabricación de compost, también se lo puede considerar eficiente para la obtención de fertilizantes líquidos y biogás, sometiendo los residuos sólidos a un proceso de degradación en condiciones netamente anaerobias, donde uno de los principales subproductos es el metano inflamable que forma parte del biogás producido, con el mismo mediante las instalaciones correctas, se pueden llegar a obtener energía eléctrica y al mismo tiempo ser útil en la cocina doméstica. Además, se está experimentando la fabricación de porciones alimentarias para el ganado vacuno, ya que contiene una significativa proporción de proteínas, para esto, es de vital importancia realizar un correcto tratamiento o procesamiento de las deyecciones para alcanzar el objetivo planteado (López & Antonio, 2003).

1.1.1.6. Tratamientos aplicables a los estiércoles.

“Un tratamiento es un cambio de los parámetros tanto, químicos, biológicos y físicos de los residuos sólidos, con el objetivo principal de disminuir su letalidad, vigilar la agresividad ambiental y hacer más fácil su gestión. Hay varios o diversos tipos de tratamiento de los residuos

sólidos, en lugares específicos (plantas de tratamiento de residuos sólidos o plantas denominadas de recuperación) del lugar donde esté ubicada la organización o a nivel de entidad” (Martínez, 2005).

1.1.1.6.1. Tipos de tratamientos

- **Incineración.** Es un proceso donde los residuos sólidos y otros residuos quedan reducidos a cenizas, disminuyendo el volumen inicial de la porción que es combustible de los residuos sólidos del 50 – 80%.
- **Pirólisis.** Proceso de desintegración de los residuos por la acción netamente del calor.
- **Reciclaje.** Proceso en el cual varios componentes de los residuos sólidos se clasifican, recogen y acumulan para después ser reintroducidos al ciclo productivo ya como materia prima. Es un proceso que soporta un producto o material para luego ser reintroducido a un ciclo de consumo o netamente de producción, ya sea en el mismo en el que fue originado o tal vez otro diferente.
- **Recuperación.** Actividad relacionada con la obtención de materiales secundarios, bien sea por separación, desempaquetamiento, recogida o cualquier otra forma de retirar de los residuos sólidos parte de sus elementos para su reciclaje o reuso.
- **Reuso.** Se le considera como el regreso a la corriente económica de un producto o bien para ser manejado de manera similar o igual a como se la manejó mucho más antes, es decir sin ningún cambio en su naturaleza o forma.
- **Recolección Selectiva.** Proceso que tiene como objetivo clasificar los residuos para su uso posterior.
 - **Almacenamiento.** El almacenamiento se le considera al instante en el que los residuos sólidos de todo tipo que se hallan mezclados son almacenados en un depósito (bolsa, costal, bote), en cierto sitio o lugar donde se forma, a la expectativa de que esta sea acopiada para su disposición final.
 - **Transportación.** Es el camino que sigue un auto cargado de desechos sólidos desde la etapa de su acopio hasta la llegada a su destino final. Los contenedores de alto volumen son dispuestos para la realización de itinerarios con cargas extremas, por medio de un vaciado de los desechos en los puntos de transferencia.

- **Relleno Sanitario.** Es una instalación orientada a dar una disposición ambiental y sanitariamente positiva de los residuos sólidos bajo tierra o en la superficie, apoyados netamente en metodologías y manuales de la ingeniería sanitaria y ambiental. Es una técnica de expulsión final de los residuos sólidos en el suelo, que no provoca malestar ni riesgo para la seguridad pública y salud, así también no desfavorece o daña el ambiente durante el proceso de operación ni terminado el mismo.
- **Compost.** La manera en que la naturaleza recicla sus desechos se la conoce como compostaje y además es el secreto principal de un medio ambiente y un suelo para que se halle en condiciones saludables. Se le considera como una manera responsable de conversión de los estiércoles en un adecuado acondicionador de suelo de aspecto sombrío y olor suave además de ello muy sencillo de disgregarse (Yauli, 2011).

1.1.1.7. Estiércol de bovino (vacuno)

El estiércol de bovino se lo considera como uno de los que se produce en grandes cantidades en las producciones ganaderas rurales como se muestra en la Tabla 2-1 y además uno de los más representativos. Este proceso se da por la combinación de la cama de los animales y los excrementos, una de las principales características se encuentra definida por sobrellevar un importante proceso de fermentación, dentro de la zona asignada para el almacenamiento o el establo puesto que hay un gran contenido de bacterias metanogénicas (Jarauta, 2005).

Tabla 2-1. Producción de estiércol fresco diario

Ganado	Kg de estiércol fresco producido por cada 100 kg de peso del animal
Cerdo	4
Bovino	7
Caprino	4
Conejo	3
Equino	7
Humano adulto	0.4 kg por adulto
Humano niño	0.2 kg por niño

Fuente: Jarauta (2005).

Este tipo de estiércol de manera histórica ha sido manejado prácticamente en la mayoría de las labores agrícolas, tanto en el suelo, como directamente en las plantas, proporcionando firmeza a la tierra móvil y arenosa, agilidad a tierras que se las considera gredosas y en suelos margosos, a suelos cálidos y calizos les da descanso, pero sobre todo se menciona en varias investigaciones

que el manejo con estiércol como abono llegaría a cambiar lo que son las propiedades físicas de los suelos como la salinidad; un uso descontrolado terminaría afectando el suelo (Carballas, 1999).

1.2. Biodigestor

A los biodigestores también se los denomina como plantas de producción o generación de biogás (Figura 1-1), son depósitos o espacios que están sellados, en los cuales el agua residual y la materia orgánica durante un determinado lapso de tiempo se descomponen generando bioabono y biogás, como es muestra esquemáticamente en la figura (Martínez, 2005).

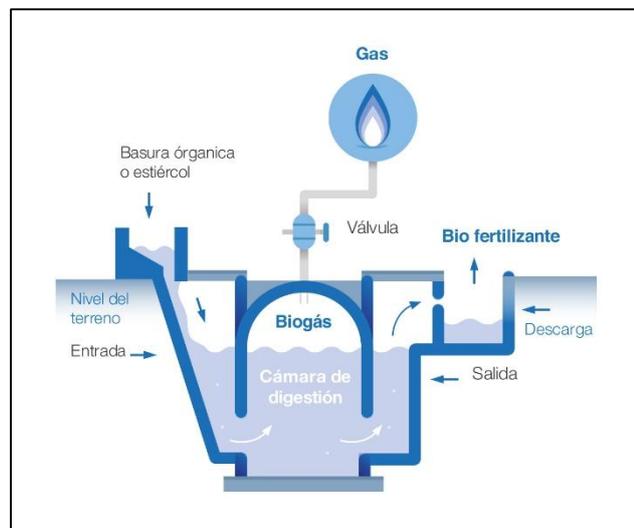


Figura 1-1. Estructura de un biodigestor

Fuente: Martínez, (2005).

Además, este sistema puede tener antes del reactor una cámara de carga y nivelación del agua residual, así como de un conector para almacenar y captar el biogás; también se puede implementar a la salida del reactor: cámaras de post tratamiento como filtros con piedras y de presión hidrostática (Martínez, 2005).

1.2.1. Ventajas y desventajas de los biodigestores

1.2.1.1. Ventajas

- **Producción de Energía**

Una parte elevada del componente orgánico de las aguas se convierte en gas metano, por efecto mismo de las bacterias metanogénicas, en la teoría equivale a 1 Kg. de la DQO suprimida se encarga de producir a 35°C, 350 litros de metano. A este combustible se lo conoce por que tiene un alto poder energético utilizable.

- **Producción de Fangos**

Durante el proceso anaerobio, al momento de quedar reducida gran parte de la materia orgánica, en biogás, el sólido que queda como resultado se mantiene bien afianzado y muy aprovechable mediante un proceso de deshidratación.

- **Proceso Exterior**

Al construir los biodigestores en ambientes cerrados, la emanación de olores nauseabundos es relativamente baja o nula dentro del proceso anaerobio, en comparación con los olores no soportables que vienen del sistema donde el proceso se lo hace en espacios que son totalmente abiertos. Una recomendación es que los digestores cerrados se los debe situar a un trecho mínimo de 500 metros de las urbanizaciones (Perez, 2010).

1.2.1.2. Desventajas

- **Puesta en Marcha**

En el proceso anaeróbico el proceso de puesta en marcha de este procedimiento es relativamente lento por tal motivo se reduce la velocidad de desarrollo de los microorganismos.

- **Temperatura**

Aplicando temperatura ambiente al método anaerobio, los resultados obtenidos son extremadamente lentos, por lo mismo se necesita una contribución externa de energía ya que se requiere temperaturas de por lo menos 35 °C, de esta forma la actividad de las bacterias será inmejorable.

- **Costos**

Los costos relacionados con la fabricación de los digestores anaerobios son elevados, a diferencia de otros sistemas de tratamiento que no son muy conocidos, básicamente porque requiere de un sistema que se le llama “integrado”, y con esto lo que se haría es facilitar un tratamiento adecuado y completo a los purines, además también requiere de la instalación de dispositivos que faciliten avivar los purines hasta hacerlos llegar a una temperatura apropiada

y posteriormente realizar la instalación de un sistema de acumulación y recolección del gas, para más adelante utilizarlo o quemarlo (Perez, 2010).

1.2.2. Componentes del biodigestor

Dentro de los componentes de un biodigestor las piezas más importantes y que ayudan a tener un funcionamiento adecuado son:

1.2.2.1. Cámara de digestión.

El proceso de fermentación anaerobia se realiza en la cámara y esta es la parte central del biodigestor. La cámara de digestión es la que se encarga de convertir la materia orgánica en bioabono y biogás, esta cámara puede ser fabricada de hormigón, ladrillo o indistintamente otro material que se encargue de brindar protección y asegurar los requerimientos de impermeabilidad y resistencia, puesto que es conocido como un proceso anaerobio (Varnero, 2011).

1.2.2.2. Sistema de carga.

Brinda ayuda para realizar los monitoreos de pH del sustrato, temperatura, entre otros; se utiliza para llenar la planta de producción y además ayuda a la compactación de la materia prima (Varnero, 2011).

1.2.2.3. Sistema de descarga

El rol fundamental es el de que la descarga del líquido y lodos asimilados sea realizada con éxito, para luego poderlos usar como abonos orgánicos. La ubicación debe darse por debajo del nivel de carga, y así la salida por contraste de presión sea totalmente asegurada (Varnero, 2011).

1.2.2.4. Cámara de gas o gasómetro.

El gasómetro se lo denomina al lugar en el que se almacena el biogás que se está generando en el proceso de fermentación, además que este se lo debe fabricar a prueba de cualquier tipo de escapes. Pueden ser de depósito flotante, de cámara flexible y de cúpula fija (Varnero, 2011).

1.2.2.5. Sistema de purificación del biogás.

Dentro de este sistema se descarta contaminantes del biogás para ser manejado como un generador de energía, estos son:

- **Sulfuro de hidrógeno.** Al no ser expulsado se da una avería de las infraestructuras metálicas y por consiguiente induce a grandes gastos económicos. Se debe realizar un proceso donde el biogás se conduce por un filtro que debe contener en su interior clavos o viruta de hierro para así expulsar el sulfuro de hidrógeno.
- **Expulsión del dióxido de carbono.** Añadiendo una solución de agua de cal se puede disminuir el porcentaje de CO₂, para esto en 1000 litros de agua se podrá eliminar 560 litros de CO₂ colocando 1,8 kg de CaO, este método no se recomienda practicarlo a gran escala, puesto que se obtiene una gran cantidad de subproductos y a más de los gastos químicos. Una manera diferente de realizar este proceso es a partir de la sosa cáustica (11,5 kg de NaOH en 1000 litros de agua para eliminar 3200 litros de dióxido de carbono).
- **Expulsión de agua.** El biogás generado puede tener una cantidad mínima de vapor de agua, se forman gotas mediante un proceso denominado condensación, estas se almacenan en los puntos inferiores de las tuberías de dirección y con el transcurrir del tiempo pueden encargarse de que no se realice el transporte del biogás (Varnero, 2011).

1.2.3. Clasificación de biodigestores

Las plantas de producción o también llamados biodigestores se logran catalogar de varias maneras, siendo principalmente la frecuencia de cargado donde radica la parte más importante a tener en cuenta, puesto que esto decreta la porción de biomasa o sustrato que se ira colocando durante del proceso de digestión anaerobia, en función a lo antes mencionado de detalla la siguiente clasificación.

1.2.3.1. Biodigestores discontinuos

Los biodigestores discontinuos son los que cuando ya se ha realizado la primera carga del sustrato, ésta será única y ya no se deberá introducir más material hasta que el proceso de biodigestión termine, esto significa hasta cuando se deje de producir biogás, mismo que se desocupará y se colocara un nuevo sustrato para así comenzar nuevamente con el proceso. Los diferentes tipos de plantas de producción anaerobios favorecen a tener una alta carga de materiales que son escasamente disueltos, esto significa que la cantidad de agua en comparación con los sistemas continuos no es alta. Tiene la ventaja de no alterar elocuentemente el material pesado como arena o tierra (WordPress, 2009).

1.2.3.2. Biodigestores Semi-continuos.

Son plantas en las cuales se acumulan a diario porciones pequeñas de sustrato en función al contenido total que exista, en estos procesos de generación de bioabonos se conserva un volumen constante de sustrato. Un factor que de suma importancia a tener en cuenta es saber cómo está distribuido el contenido de agua, esto debido a que el sustrato que integrará el proceso de biodigestión tiene que tener una relación 1:4, hace referencia a una porción del material orgánico y cuatro porciones de agua (WordPress, 2009).

1.2.3.3. Biodigestores continuos o de mezcla completa.

Los biodigestores de mezcla completa o continua están conformados por un ingreso continua del sustrato y una salida así mismo-continua del producto final, el proceso no se termina al 100% en este tipo de plantas de producción, con esa referencia la eliminación total de agentes originadores de patógenos no es total, por lo que es recomendable volver a realizar nuevamente una circulación del efluente (WordPress, 2009).

1.2.3.3.1. Modelo Chino.

Proveniente de la región asiática especialmente de China, contiene un armazón que es cerrado donde conserva una cámara de descarga y otra de carga, puede ser diseñada de concreto, cemento, ladrillo o concreto. Posee un tiempo de duración largo, y por el tipo de material del cual es fabricado es muy férreo al ambiente, pero como perjuicio tiene que su elaboración tiene un elevado costo (WordPress, 2009).

1.2.3.3.2. Modelo Horizontal.

La característica principal es que poseen la cámara de digestión larga, por donde el material orgánico hace su recorrido a lo largo de la planta de producción, generándose la degradación anaerobia, en los extremos de este modelo se localizan la cámara de descarga y la cámara de carga. Este modelo evita que la carga inicial se combine con el efluente, de esta forma se tiene un gran rendimiento de los residuos además y es de gran ayuda para cuando se tengan la necesidad de implementar el proceso por un tiempo prolongado (WordPress, 2009).

Los prototipos horizontales son llamados plantas de producción familiares de mínimo costo, en los mismos las familias, en especial del campo al tener escasos recursos toman la decisión de poner en marcha la edificación de este prototipo, son sencillos de efectuar simplemente usando plásticos de polietileno de forma tubular (WordPress, 2009).

1.2.4. Degradación anaeróbica

A la digestión anaeróbica se la conoce como la oxidación del material orgánico o degeneración biológica, donde por acción de microorganismos específicos se produce una serie de reacciones en ambientes carentes de aire (oxígeno molecular). El material que se va a degradar dentro del proceso queda reducido a 2 productos totalmente manejables, primero se obtiene un producto inerte y consistente denominado biol y en otro resultado obtenemos biogás con un gran porcentaje de metano en su composición, los dos productos resultantes de la degradación anaerobia tienen en su estructura condiciones energéticas. En este proceso de descomposición de material orgánico intervienen varias agrupaciones microbianas, las mismas que realizan un proceso de alta complejidad, pero para la degradación de la materia orgánica lo efectúan de una manera sucesiva y ordenada (García K. , 2009).

La degradación anaerobia se produce en tres fases, estas son:

- Hidrólisis
- Acidogénesis
- Metanogénesis

En el transcurso del proceso de producción del gas metano, se produce una generación en cadena de varias clases de bacterias. Durante la fase de **Hidrólisis**, un porcentaje de bacterias se encargan de realizar una hidrólisis del estiércol produciendo ácidos de tipo orgánicos. Durante la fase de la **Acidogénesis**, otro porcentaje de bacterias totalmente distintas asimilan estos ácidos orgánicos por medio de una acetogénesis y deshidrogenación dando como producto resultante el ácido acético e hidrógeno. La fase final se denomina **Metanogénesis**, en esta, otro grupo de bacterias, denominadas metanogénicas, son las encargadas de asimilar el ácido acético y el hidrógeno convirtiéndolo en metano, este es considerado como el más importante dentro del biogás, el cual facilita la combustión (Figura 2-1) (Martí, 2008).

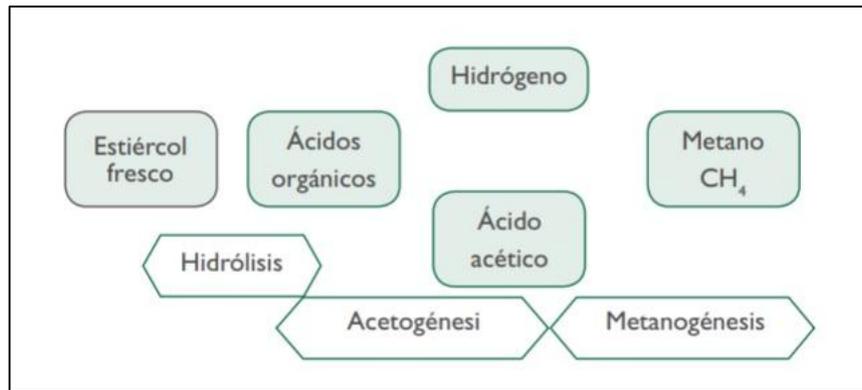


Figura 2-1. Proceso de degradación anaerobia

Fuente: Martí, (2008)

1.2.4.1. Parámetros para considerar en la degradación anaeróbica

Durante el proceso anaerobio al que es sometido la materia orgánica, se requiere tomar en cuenta los siguientes parámetros.

- **pH.** Este criterio establece la toxicidad o la muerte de las bacterias metanogénicas, ocurriendo este fenómeno cuando el pH está por debajo de 6, se tiene un adecuado proceso de degradación cuando el pH dentro de la planta de producción oscila entre 6.5 y 7.5 (Olaya, 2009).
- **Temperatura.** En relación con la temperatura, se establecieron tres tipos de ambientes anaeróbicos, en cada ambiente para un correcto funcionamiento de la planta de producción, los rangos de temperatura más recomendables son: de 45 – 97 °C, para el ambiente termofílico; de 20 – 45 °C, ambiente mesofílico; y de 0 – 20 °C, en el ambiente psicofílico (Olaya, 2009).

Las bacterias que se desarrollan en los diferentes ambientes son entidades totalmente diferenciadas, para vigilar la temperatura con la finalidad de incrementar la eficiencia del proceso, se recomienda utilizar serpentines de agua caliente en el interior del digestor, esto permitirá aumentar la temperatura del efluente (Olaya, 2009).

- **Tiempo de retención.** Se lo define como el lapso de tiempo que la materia orgánica necesita en el interior del sistema para comenzar con el proceso de degradación. El tiempo de retención está estrechamente vinculado con la temperatura del ambiente, cabe mencionar que, en escenarios óptimos del proceso, teniendo una temperatura de 30 °C, el tiempo de retención (Tr) sería de alrededor de 20 días; este tiempo se da porque la temperatura se encuentra en

constantes variaciones, por ello se hace casi incontrolable afectando de forma significativa al tiempo de retención (Olaya, 2009).

- **Relación C/N.** Incide básicamente en la obtención de biogás, la relación correcta o más manejable oscilaría entre 20:1 y 30:1 (Olaya, 2009).
- **Amoniaco:** Para una labor eficiente de la planta de producción, el nivel en el interior del sistema se debe procurar que se encuentre inferior a los 2000 mg/l (Olaya, 2009).

1.3. Bioabonos

Los bioabonos o también conocidos como abonos orgánicos son todos aquellos residuos de origen vegetal que pueden ser descompuestos por efecto de los microorganismos, así como, con la intervención del ser humano, también forman parte organismos de menor tamaño que se hallan en las deyecciones de los animales en conjunto con el trabajo de microbios específicos, son los encargados de beneficiar a la tierra, conservando su fertilidad (Porras, 2013).

1.3.1. Abonos Inorgánicos

Son todos los productos carentes de materia orgánica dentro de su composición básica, que dentro de su estructura contengan uno o más elementos esenciales registrados como nutritivos para el desarrollo y crecimiento vegetal. Estos pueden ser minerales naturales provenientes de la tierra o a su vez fabricados por el hombre (fertilizantes sintéticos). En los dos casos se van descomponiendo mucho antes de ser asimilados. Este tipo de abonos son más conocidos y utilizados que los orgánicos, puesto que operan de manera eficaz sobre el suelo y se separan con facilidad (Porras, 2013).

1.3.1.1. Fertilizantes minerales

La característica principal de éstos es que se diluyen con efectividad y rapidez en el suelo, es por ello por lo que las plantas se benefician de esos nutrientes tan solo al echarlos o días después, estos tipos de fertilizantes son los más utilizados y populares, fundamentalmente en céspedes y la agricultura (Porras, 2013).

1.3.1.2. Abonos líquidos y para fertirrigación

Los fertilizantes minerales pueden llegar en presentaciones de forma líquida, ocupando el lugar de los granulados, para así ser utilizados en fertirrigación, mejor dicho, diluidos en el agua de

riego. Dentro de estos también están aquellos que son utilizados para las plantas de interior (Porras, 2013).

1.3.2. Abonos Orgánicos.

A las sustancias que están formadas por residuos de origen vegetal, animal o mixto, que se incorporan al suelo con el fin de optimizar las características tanto químicas, físicas y biológicas se conoce como abonos orgánicos. Para la producción de abonos verdes se utilizan leguminosas fijadoras de nitrógeno de los desechos de cultivos agrícolas abandonados en el terreno luego de haber realizado la cosecha; residuos orgánicos del trabajo agrícola y ganadero (purín, estiércol); desechos domésticos (basuras de las casas y excrementos); residuos orgánicos del proceso de productos agrícolas; compost elaborado con las uniones de los combinados que se mencionan con anterioridad (Porras, 2013).

1.3.2.1. Usos y Beneficios.

Los abonos orgánicos favorecen las características químicas, físicas y biológicas del suelo. Dentro de las propiedades químicas, los abonos orgánicos son los encargados de elevar el poder tampón del suelo y como efecto secundario disminuyen los balances de pH. Pueden llegar también a incrementar en el suelo la capacidad de intercambio catiónico, lo que conlleva a mejorar la fertilidad. Dentro de las propiedades físicas los impactos de los abonos orgánicos van encaminados hacia dos objetivos principales: la regulación del balance hídrico del suelo y el mejoramiento de la estabilidad estructural. Mientras que, en las propiedades biológicas, los abonos orgánicos ayudan la oxigenación y aireación del suelo, debido a que hay una alta actividad de los microorganismos aerobios y también existe un aumento en la actividad radicular. Por esto se instituyen en una fuente principal de energía para los microorganismos, ayudando a que se reproduzcan de manera más eficaz (Porras, 2013).

Los desechos orgánicos que se emplean al suelo como son los denominados abonos orgánicos, se encuentren o no estos en fase de transformación, van ayudar a que el suelo tenga una fertilidad integral. Los componentes resultantes expulsan a la solución del suelo, de manera principal los nutrientes esenciales de una manera algo lenta, esto hace que su eficacia en lo que se refiere a la aplicación con relación a los fertilizantes solubles de síntesis sea extremadamente superior, incorrectamente llamados o denominados fertilizantes químicos. A la porción de materia orgánica se la considera como uno de los componentes esenciales que ayudan principalmente a la productividad de los suelos y fertilidad de los mismos, puesto que su beneficio ayuda de gran manera una parte fundamental de los procesos físicos, biológicos y químicos que se encuentran gobernando el régimen suelo-planta. Estiércol de oveja, vaca, caballo, etc (Porras, 2013).

1.3.2.2. Tipos de abonos orgánicos.

- **Compost.** Abono que se puede obtener a partir de residuos vegetales y otros componentes orgánicos, después de atravesar un procedimiento de compostaje, en este proceso se puede llegar a obtener niveles aceptables de Nitrógeno, Fósforo, Potasio y una variedad de micronutrientes como hierro, manganeso, cobre, entre otros.
- **Turba.** Puede ser de una tonalidad oscura, que es la más reconocida y usada o también está la turba rubia, la misma que es demasiado ácida y posee un pH=3,5. Se la utiliza de fondo para formar sustratos para semilleros, recipientes y también para incorporarla al suelo, se la encuentra de forma natural en ecosistemas de paramo.
- **Extractos húmicos.** Poco utilizado, pero con resultados aceptables obtenidos en el suelo, ya que desbloquean los minerales que en este se encuentren, fijan los nutrientes evitando el escurrimiento de los mismos, aceleran los procesos de la flora microbiana con lo que se incrementa la mineralización, favoreciendo al crecimiento del sistema radicular.
- **Abonos verdes.** Hace referencia al proceso de aportar nitrógeno al suelo con el uso de residuos vegetales (Porrás, 2013).

1.3.3. Productos del Biodigestor

1.3.3.1. Biol

“Al abono orgánico líquido se lo conoce como biol el mismo que proviene o tiene su origen a partir de la degradación de materiales o residuos orgánicos com: plantas verdes, frutos, estiércoles de animales entre otros, este proceso se lo hace sin la presencia de oxígeno. Se lo considera como un tipo de vida (bio), altamente fértil (fertilizante), por aquello son altamente beneficiosos tanto en el ámbito ecológico y económico. Posee nutrientes que son de muy fácil aprovechamiento, ya que a las plantas las hace lucir más resistentes y vigorosas. La mejor técnica implementada para la obtención del biol es por medio de plantas de producción o también llamados biodigestores” (SisteBio, 2009).

Este abono orgánico llamado biol es proveniente de la fermentación de agua y estiércol por medio de las modificaciones y desintegraciones químicas de desechos de tipo orgánicos dentro de un ambiente anaerobio. Al ser despachado de la planta de producción (biodigestor), el producto resultante no posee características como un olor fuerte, además de que una vez implementado o

aplicado a los suelos, el biol ya no tiene en su composición elementos que inciden en la atracción de insectos. El biol es el encargado de abastecer de una gran cantidad de fitorreguladores que son de beneficio para las plantas ya que les ayuda a tener un inmejorable desenvolvimiento, fomentando una alta productividad de los cultivos (SisteBio, 2009).

Se usa el biol básicamente por ser organizador y reparador del crecimiento de raíces, frutos y la planta, todo eso gracias a una adecuada producción de hormonas, las mismas que son desechos de las bacterias propias de la fermentación anaeróbica, que en el compost no se encuentra. Este tipo de beneficios permiten que se requiera cada vez menos cantidades de fertilizante minerales en sus distintas presentaciones (SisteBio, 2009).

1.3.3.1.1. Ventajas del Biol

- El correcto y adecuado manejo del Biol permite mejorar la capacidad de intercambio catiónico en el suelo, mediante esto se lograría extender las reservas de nutrientes del suelo. Además, puede ayudar a conservar la humedad del suelo y dar origen a un microclima el mismo que sería el ideal para las plantas.
- Al Biol se lo puede aplicar por rociado, ya que se lo considera como un fertilizante líquido. Otro método de empleo es hacerlo acompañado de agua de riego en sistemas totalmente automáticos de irrigación.
- Al ser el BIOL conocido como una fuente de origen orgánico de fitoreguladores en pequeñas cantidades, esto lo convierte en un promotor de actividades fisiológicas y se encarga de estimular el crecimiento de las plantas, interviniendo en las siguientes funciones: opera sobre el follaje (extiende la base foliar), enraizamiento (fortifica e incrementa la base radicular), beneficia la floración y se encarga de accionar el vigor y poder germinativo que poseen las semillas, esto se ve reflejado en un incremento total de las cosechas (Aparcana, 2008).

1.3.3.2. Biogás

El biogás es un conjunto de diferentes gases cuyo fin principal es su uso como combustible, se generada por la alteración microbiana de materia viva en condiciones anaerobias (Tabla 3-1). En su producción se puede manejar diferentes sustratos entre ellos pueden estar los desechos que son generados por el ser humano, los desechos agrícolas, animales, cabe recalcar que esto se dará mientras haya características orgánicas. El proceso implica una sucesión de mecanismos bacterianos que operan sobre la biomasa para dar origen al biogás y que por medio de la acción

enzimáticas se convierten en dióxido de carbono y metano incluyendo también otros elementos en traza, el gas que se menciona posee un porcentaje alto de poder calórico lo que conlleva a que el manejo como combustible sea garantizado, teniendo en cuenta que la concentración de metano no vaya a ser menos del 50% (Chillo, 2015).

Tabla 3-1. Composición del biogás

Componente	Formula Química	Volumen (%)
Metano	CH ₄	54 – 70
Dióxido de carbono	CO ₂	27 – 45
Hidrógeno	H ₂	1 – 10
Nitrógeno	N ₂	0.5 – 3
Ácido sulfhídrico	H ₂ S	0.1

Fuente: (Chillo, 2015).

El gas que proviene del biodigestor contiene un poder calórico de aproximadamente 5000 Kcal/m³, este valor va a estar en dependencia de la calidad y tipo del estiércol que se ha venido utilizando. Con el uso adecuado del biogás la electricidad, el Diésel, el gas propano podrían ser reemplazados, como reservas energéticas en la producción de calor, refrigeración o electricidad. En sectores pertenecientes al área rural el biogás resultante se lo puede emplear en los motores de origen eléctrico, como combustible se puede vender a las diferentes fincas o como autoconsumo dentro de la finca. Se lo puede utilizar también como combustible para los hornos de aire forzado, refrigeradores y calentadores de adsorción (Chillo, 2015).

1.3.3.3. Biosol

El Biosol es el producto resultante de retirar la porción compacta del “fango” que proviene de la fermentación anaeróbica en el interior de la planta de producción o Biodigestor. En base a la tecnología utilizada, este Biosol que ha recibido tratamiento podría llegar a tener entre el 25% y el 10% de humedad como resultado del Biol residual. La estructura química que se obtiene guarda relación con los desechos que se manejaron para su elaboración en el digestor. Al biosol se lo podría manejar en conjunto con fertilizantes químicos o compost (Tabla 4-1) (Aparcana, 2008).

Tabla 4-1. Características Generales del Biosol Fresco (Fertilizante Sólido) después la Fermentación de Estiércol de Vacuno

Componentes	(%)
Agua	15.7
Sustancia organica seca	60.3
pH	7.6
Nitrogeno total	2.7
Fósforo P ₂ O ₅	1.6
Potasio K ₂ O	2.8
Calcio (CaO)	3.5
Magnesio (MgO)	2.3
Sodio (Na)	0.3
Azufre (S)	0.3
Boro (B) (ppm)	64.0

Fuente: Aparcana, (2008)

La composición química mencionada en la Tabla hace referencia a un Biosol originado a partir de estiércol de ganado vacuno, ya que es el que más se produce, además este es uno de los que contiene escasos nutrientes debido a que en el proceso de digestión del animal la mayoría de los elementos han sido asimilados casi en su totalidad. Si se desea obtener un Biosol de alta calidad, como en el caso de los otros subproductos obtenidos del proceso de digestión anaerobia la calidad del estiércol es fundamental (Aparcana, 2008).

1.3.3.3.1. Ventajas en el uso del Biosol (fertilizante sólido)

- La aplicación de este abono facilita y se encarga de controlar la nutrición de la planta. Los cultivos son reforzados y se obtiene un rendimiento totalmente beneficioso, utilizar el Biosol intensivamente en el suelo ayuda a aumentar la calidad de éste.
- Este abono concede a los suelos arenosos una alta cohesión esto permite que la conservación de los nutrientes que se hallan en el suelo sea mayor.
- El Biosol ayuda a la capacidad de conservación de gran parte de la humedad del suelo y la constitución del mismo, influyendo en la actividad biológica que se da en el suelo. Dentro de otro de los aspectos es que ayuda a mejorar la porosidad y con esto la ventilación y la permeabilidad.
- El Biosol se lo puede añadir a los residuos que van a ser utilizados en un proceso de compostaje, con el objetivo de acelerar la obtención del producto final.

- La ventaja del Biosol ya como un fertilizante es que se requiere una menor cantidad del mismo para cubrir una hectárea de terreno en relación con otros abonos, esto conlleva a que solo es necesario de 2 – 4 Toneladas/Ha, en el caso de manejar sólo estiércol es necesario 15 – 30 Toneladas/ha y si se maneja compost es necesario de 10 – 20 Toneladas/Ha. Cabe mencionar que las cantidades son solo referentes y van a estar en dependencia del tipo de suelo y del cultivo (Aparcana, 2008).

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1 Zona de estudio

La presente investigación se realizó en el relleno sanitario ubicado en el cantón Joya de los Sachas, provincia de Orellana.

2.1.1 Lugar de la investigación

El diseño y la planificación de la implementación del biodigestor se realizó en la granja integral del municipio del cantón, misma que se encuentra ubicada a 200 metros del relleno sanitario. La implementación del biodigestor se realizó en el relleno sanitario del cantón de la Joya de los Sachas, mismo que se encuentra ubicado a 6 km del área urbana, vía a la comunidad Unión Bolivareense; las características generales del lugar de implementación se describen a continuación:

Pendiente: el 60 % del área total es plana el 40% restante es un área quebradiza llegando la pendiente a superar el 60%, esto debido a la presencia del río Sacha 7, ubicado a 372.67 metros de distancia del sitio de canchones del relleno sanitario,

Clima: es muy húmedo tropical

Topografía: la superficie es colinada, con la presencia de grandes superficies de llanura cercanas a la vía denominada Troncal Amazónica.

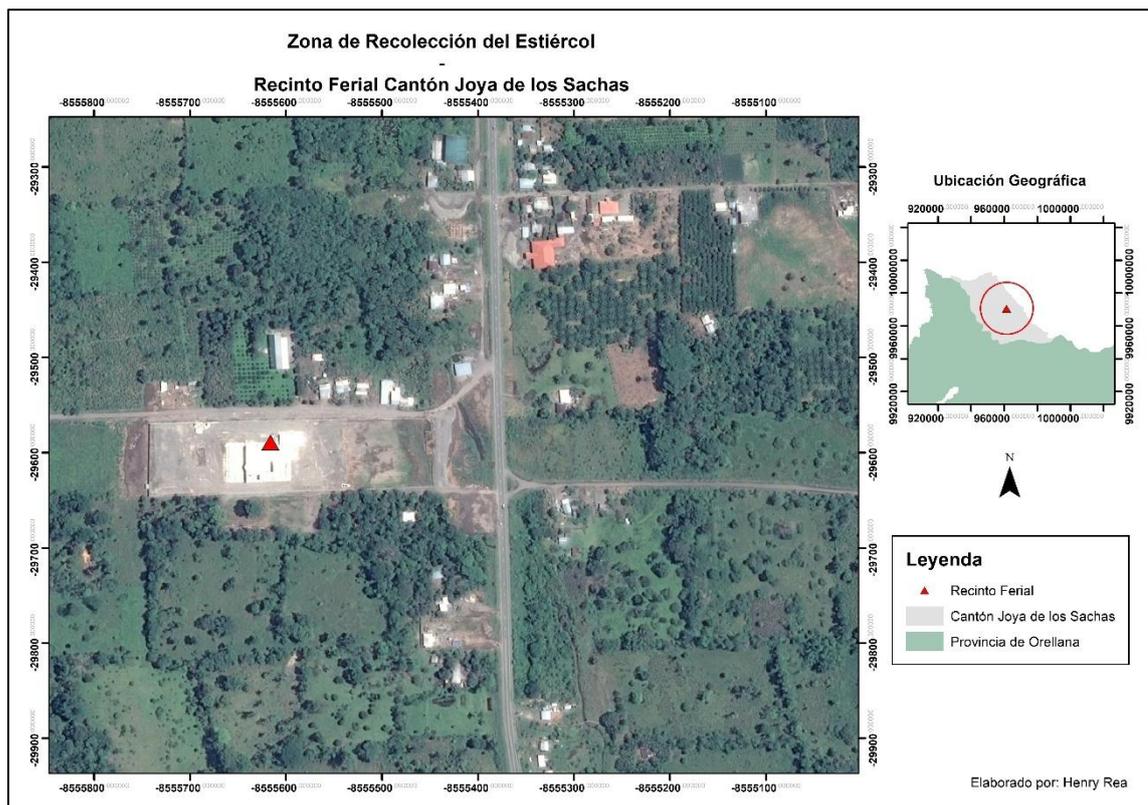
Suelo: es de tipo arcilloso con una textura delgada con características ferruginosas en aproximadamente el 50% del área total del cantón, además se registra áreas conformadas por suelos negros con una textura media especialmente en las zonas aledañas al río Napo y Coca.

Cabe recalcar que no se realizó la implementación del biodigestor en el recinto ferial de donde proviene la materia prima (estiércol) ya que no se cuenta con el espacio y condiciones para la construcción.

2.1.2. Ubicación geográfica

2.1.2.1. Recinto Ferial – Cantón Joya de los Sachas

En el mapa 1-2 se muestra la ubicación geográfica del recinto ferial en conjunto con un punto de referencia.

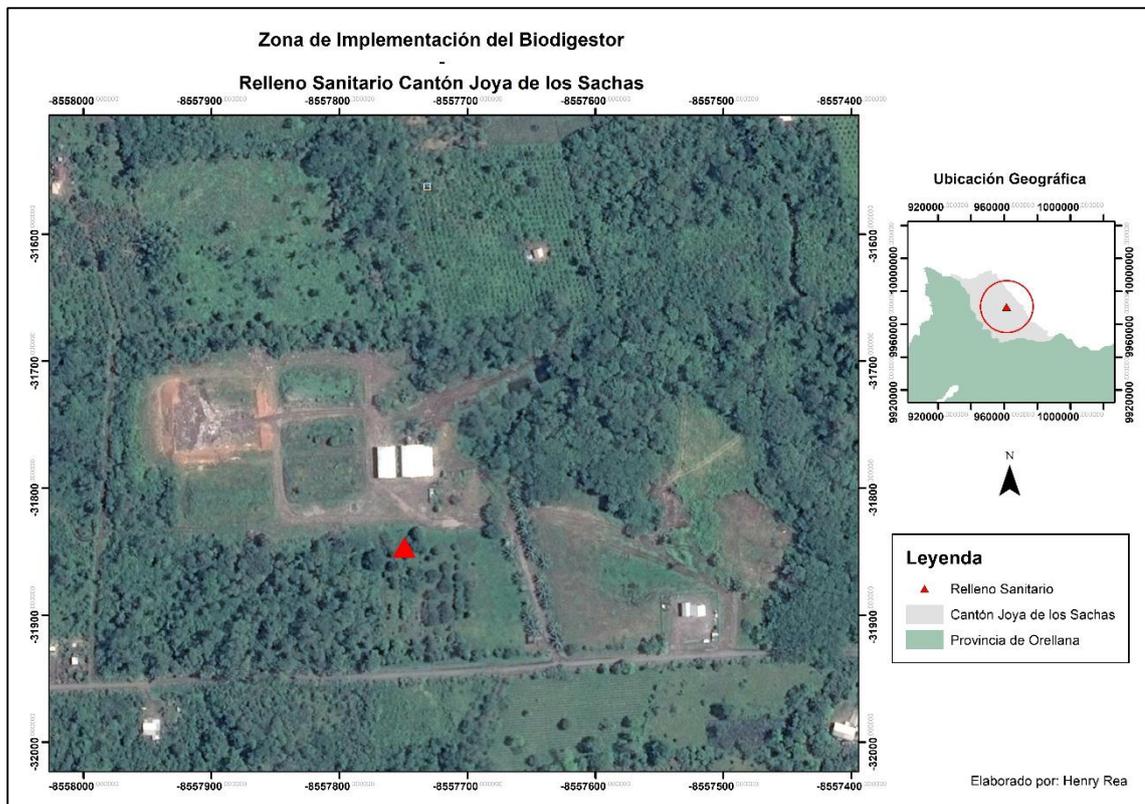


Mapa 1-2. Zona de recolección del estiércol de ganado vacuno

Elaborado por: Rea, H (2017)

2.1.2.1. Relleno Sanitario – Cantón Joya de los Sachas

En el mapa 2-2 se muestra la ubicación geográfica del relleno sanitario lugar de implementación del biodigestor en conjunto con un punto de referencia.



Mapa 2-2. Zona de implementación del biodigestor

Elaborado por: Rea, H (2017)

2.2 Tipo de investigación

El presente trabajo técnico es de tipo teórico – práctico, ya que primero se realizó un proceso de investigación bibliográfica sobre los parámetros que intervienen en el proceso de digestión anaerobia y la construcción de biodigestores, a partir de esto se diseñó e implementó el modelo de biodigestor que mejor se ajuste a las necesidades del relleno sanitario.

2.2.1 Parámetros de estudio

- El biol
- Temperatura
- Estiércol
- Relación Carbono/Nitrógeno

2.2.3 Esquema del proceso

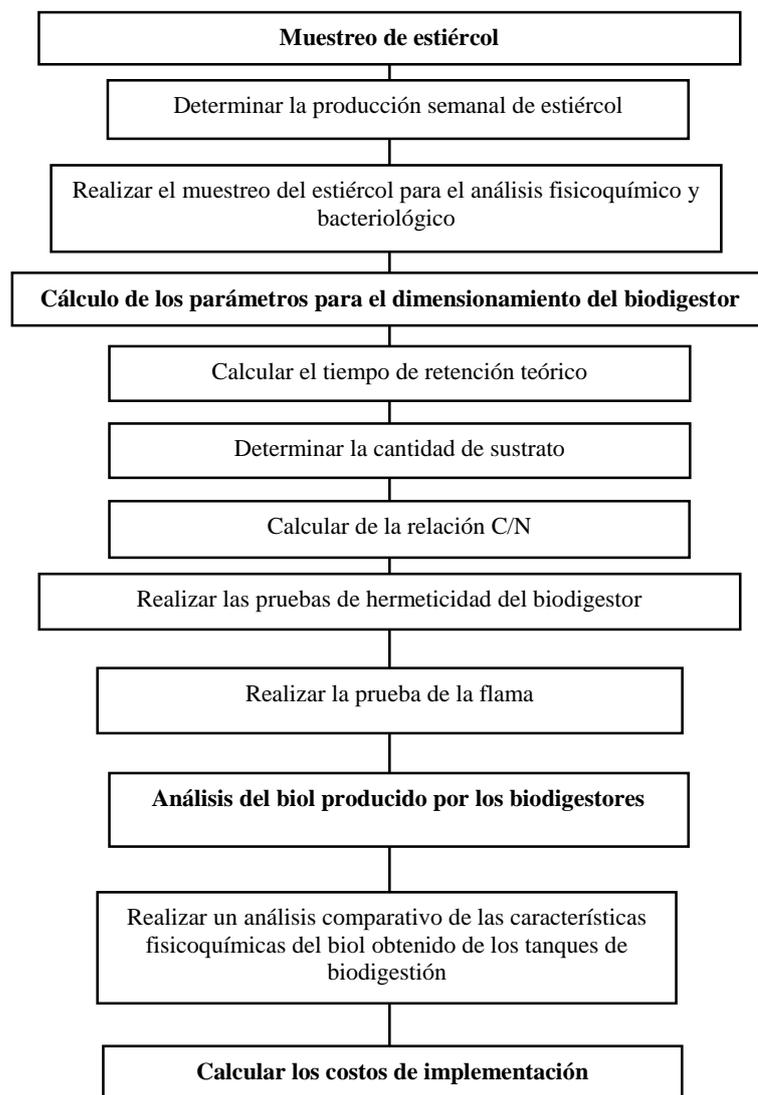


Gráfico 1-2. Esquema del Proceso

Elaborado por: Rea, H (2017)

2.2.3.1 Procedimientos

2.2.3.1.1. Plan de muestreo del estiércol

El plan de muestreo del estiércol se dividió en dos etapas las cuales se describen a continuación:

Etapa 1 – Determinación de la cantidad de estiércol semanal producida en el recinto ferial

Se determinó la cantidad media semanal producida en el recinto, recolectando y pesando la cantidad de estiércol que se produce diariamente en los tres días de funcionamiento, en la tabla 2-1 se detalla el muestreo realizado.

Tabla 1-2. Determinación de la cantidad semanal de estiércol, para el dimensionamiento del biodigestor

Día	Semana 1	Semana 2	Semana 3
Martes	41.31 kg	40.52 kg	37.30 kg
Miércoles	38.41 kg	36.50 kg	39.38 kg
Domingo	70.06 kg	68.54 kg	72.92 kg
Total	149.78 kg	145.56 kg	149.60 kg

Elaborado por: Rea, H (2017)

Etapa 2 – Muestreo para el análisis fisicoquímico y bacteriológico

Se realizó la recolección de muestras de estiércol del recinto ferial para su posterior análisis fisicoquímico, las muestras se recolectaron después del cierre de las instalaciones, en dos puntos de la superficie total del recinto donde existió una mayor acumulación de estiércol durante el día, se determinó si la muestra se encontraba dentro de los rangos óptimos para un proceso de fermentación anaerobia, parámetros iniciales necesarios para el diseño y construcción del biodigestor, el procedimiento de recolección se describe a continuación:

1. La recolección de estiércol fresco con la ayuda de una pala, el mismo que fue colocado sobre un plástico en el suelo, lugar donde se procedió a dividir en partes proporcionales para su posterior envasado en fundas herméticas.
2. Para evitar el derramamiento de estiércol en los exteriores de la funda el estiércol fue colocado de forma manual para lo cual se utilizó guantes estériles (Fotografía 1-2).



Fotografía 1-2. Recolección de estiércol para su posterior análisis fisicoquímico y bacteriológico.

Elaborado por: Rea, H (2017)

Las fundas fueron debidamente etiquetadas y se trasladaron al Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas (LABSU) en la ciudad del Coca, donde se analizó los siguientes parámetros:

- pH
- Sólidos totales
- Sólidos totales volátiles
- Materia orgánica
- Carbono orgánico total
- Nitrógeno total
- Humedad
- Potasio
- Zinc
- Cobre
- Hierro
- Recuento de microorganismos.

2.2.3.1.2. Determinación de la producción semanal de estiércol

La determinación de la producción semanal de estiércol se realizó mediante la medición de la cantidad de estiércol producida durante los días laborales del recinto ferial (martes, miércoles y domingo) por un periodo de tres semanas a las 17:00.

El estiércol generado fue pesado en baldes en una balanza previamente encerada al peso del balde que fue utilizado (Fotografía 2-2), posteriormente el estiércol fue almacenado en un lugar donde se encontraba protegido de la luz y viento para evitar su deshidratación y contaminación por otras sustancias. Los datos obtenidos fueron registrados para el posterior cálculo de la producción semanal de estiércol.



Fotografía 2-2. Pesaje del estiércol producido diariamente en el recinto ferial.

Elaborado por: Rea, H (2017)

2.2.3.1.3. Cálculo de los parámetros para el dimensionamiento del biodigestor

El dimensionamiento del biodigestor se realizó en función de la producción semanal de estiércol del recinto ferial, se eligió el diseño de un biodigestor discontinuo, el mismo que se caracteriza por que la materia prima se carga una sola vez; después de un periodo de fermentación, cuando el contenido de materia prima disminuye junto con la producción de biogás, se desocupa el biodigestor completamente para iniciar nuevamente con otro proceso de fermentación (Varnero, 2011).

Para la implementación del biodigestor discontinuo se optó por elegir un tanque de plástico de 200 L de capacidad debido a su facilidad de manejo, transporte, manipulación, así como su disposición para poder generar un cierre hermético que evite la entrada de gases u otras sustancias en el mismo.

2.2.3.1.3.1. Tiempo de retención teórico

UPME (2003) recomienda seleccionar un tiempo de retención apropiado en relación con la temperatura promedio del lugar en el que va a funcionar el biodigestor, para lo cual expresa la siguiente relación:

$$TR = (-51.227 \times \ln(T \text{ } ^\circ\text{C}) + 206.72)$$

(Ecuación 1)

Donde:

- TR : tiempo de retención en días
- $T \text{ } ^\circ\text{C}$: temperatura promedio en $^\circ\text{C}$ del lugar donde se situará el biodigestor.

2.2.3.1.3.2. Determinación de la cantidad de sustrato

Para la determinación de la cantidad de sustrato que ingresaría en el tanque de 200 L de capacidad, se consideró que el 90% del volumen del tanque será destinado al sustrato, y el 10% restante al biogás, ya que el biogás no fue considerado como un producto de uso y fue eliminado de una forma adecuada. Para el cálculo de la cantidad de sustrato se utilizó la siguiente ecuación:

$$V_s = C_R \times 0.90$$

(Ecuación 2)

Donde:

- V_s : volumen del sustrato
- C_R : Capacidad del recipiente.

La composición del sustrato para la carga del biodigestor se realizó en función a lo expuesto por Restrepo (2007), el cual para la mezcla de la carga inicial a más de agua y estiércol de vaca se adicionó suero de leche, melaza y ceniza. Por tanto, el volumen de sustrato obtenido deberá ser distribuido entre estos elementos.

2.2.3.1.3.3. Cálculo de la relación C/N de la mezcla

Se realizó el cálculo de la relación C/N de la mezcla para verificar que la composición elegida para la biodigestión sea la adecuada y se encuentre dentro del rango de 20-30:1. La relación se calculó con la ecuación planteada por Guevara, (1996):

$$K = \frac{\sum C_i X_i}{\sum N_i X_i}$$

(Ecuación 3)

Donde:

- K : es la relación C/N de la mezcla escogida para la carga
- N : es el porcentaje de nitrógeno del componente i
- C : es el porcentaje de carbono del componente i
- X : es el peso del componente i .

Los porcentajes de carbono y nitrógeno de la melaza, suero de leche y cenizas de madera se exponen en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2. Porcentaje de C y N de melaza, suero de leche y ceniza

Componente	C (%)	N (%)
¹ Melaza	40.767	0.245
¹ Suero de leche	0.350	0.409
² Ceniza de leña	4.47	0.15

Fuente: ¹Robalino (2011), ² Bellote (1995).

2.2.3.1.4. Pruebas de hermeticidad del biodigestor

Se realizó el llenado hasta el nivel de trabajo estipulado (180 L) con agua en cada uno de los tanques, por medio de la manguera de escape de gas se envió aire presurizado con ayuda de una pequeña bomba de aire, para poder simular las condiciones a las que se encontraron los biodigestores durante el proceso de fermentación. Se verificó de manera visual la existencia de fugas o goteras en cada uno de acoples y en el caso de su existencia se procedió a sellarlos.

2.2.3.1.5. Prueba de flama

En el día 30 del proceso de fermentación se efectuó la prueba de flama en la cual se tomó el extremo de la manguera de evacuación de gases y se la acoplo firme y rápidamente a una llave de bola, para así evitar fugas de gas o accidentes durante la prueba. Se procedió a abrir la llave permitiendo el flujo del biogás y se aproximó un fosforo encendido a la manguera; en el caso de la existencia de biogás se generará una llama de tamaño y color variado en función de la calidad del biogás producido (Lara, 2016).

2.2.3.1.6. Análisis del biol producido por los biodigestores

Una vez finalizado el proceso de fermentación anaerobia se ejecutó el análisis del biol generado. El biol de cada biodigestor fue recolectado en una botella de vidrio de 473 mL, las muestras fueron trasportadas al Laboratorio de Suelos, Agus y Plantas de la ciudad del Coca (Fotografía 3-2), para realizar los siguientes análisis: pH, materia orgánica, carbono orgánico total, nitrógeno total, fósforo, calcio, potasio, magnesio, sodio y potasio total.



Fotografía 3-2. Recolección de muestras de biol una vez finalizado el proceso de fermentación

Elaborado por: Rea, H (2017)

2.2.3.1.7. Análisis comparativo de las características fisicoquímicas del biol obtenido de los tanques de biodigestión

Se procedió al cálculo del coeficiente de variación ya que Galindo (2015) lo define como una medida adimensional útil para comparar las mediciones de una misma magnitud realizada en distintas unidades o por distintos individuos.

El coeficiente de variación se denota como CV y es igual a la desviación estándar (s) dividida por la media aritmética (\bar{x}).

$$CV = \frac{s}{\bar{x}}$$

(Ecuación 4)

Con el cálculo del coeficiente de variación se pretendió determinar si los datos obtenidos fueron homogéneos o heterogéneos, es decir si se obtuvo resultados consistentes entre los tres biodigestores.

2.2.3.1.8. Calculo de los costos de implementación.

Para los costos de implementación se calcularon los costos directos e indirectos, dentro del primero se tomó en cuenta el costo de materiales, herramientas y mano de obra; para los indirectos se sumó el costo del análisis de laboratorio y de las herramientas que se utilizaron para la toma de muestras, de esta forma se obtuvo el costo total de implementación de los biodigestores en el relleno sanitario del cantón Joya de los Sachas.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis de las muestras de estiércol de vaca

En la Tabla 1-3 se muestra el promedio de los resultados obtenidos de los análisis físicos, químicos y microbiológicos realizados a las dos muestras de estiércol de vaca recolectadas en el recinto ferial, valores que no distan demasiado uno de otros, siendo este un indicativo de la homogeneidad del estiércol recolectado.

Tabla 1-3. Resultados de los análisis de las muestras de estiércol.

Parámetro	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
Potencial hidrógeno	-	7.43	6.64	7.04
Sólidos totales	%	13.66	13.15	13.41
Sólidos totales volátiles	%	8.68	8.63	8.66
Materia orgánica	%	15.49	17.93	16.71
Carbono orgánico total	%	8.98	10.4	9.69
Nitrógeno total	%	0.77	0.9	0.84
Humedad	%	73.76	86.27	80.02
Potasio	mg/kg	14699.81	10755.01	12727.41
Zinc	mg/kg	37.66	43.16	40.41
Cobre	mg/kg	10	12.43	11.22
Hierro	mg/kg	702.4	929.67	816.04
Recuento de microorganismos	col/g	6.90x10 ⁶	7.20x10 ⁶	7.05x10 ⁶

Elaborado por: LABSU, (2017)

Los resultados de los parámetros analizados en las dos muestras de estiércol se compararon con los rangos expuesto por González, (1995), se determinó que el estiércol es apto para ser usado en el proceso de biodigestión, tomando en cuenta ciertos matices, mismos que se describen a

continuación: Primero, en lo que respecta a la humedad de la muestra al ser del 80.02 % se encontró fuera del rango expuesto por el autor que va del 28 % al 45 %, este exceso de agua en la muestra no se consideró como un factor limitante que impida su uso en el biodigestor, ya que el ganado que acude al recinto ferial proviene de diferentes lugares semanalmente, por lo que puede considerarse a dicho valor como atípico y no fue relevante para el dimensionamiento del biodigestor, además, en la mezcla de carga para el biodigestor no se consideró al estiércol como fresco, teniendo en cuenta que el estiércol utilizado fue recolectado durante la semana, razón por la cual se eligió una relación de estiércol -agua de 1:2.

Otro valor importante que se consideró en el análisis del estiércol fue la relación C/N, que para las muestras fue de 11.5, obtenido a partir del porcentaje de carbono orgánico total (9.69) y el de nitrógeno total (0.84), el valor calculado se encontró ligeramente por debajo del rango establecido de 13 a 19 (González, 1995), lo que indicaría un alto nivel de nitrógeno, pudiendo afectar la calidad final de los productos generados, sin embargo al ser utilizado el estiércol como sustrato de una mezcla más compleja para el biodigestor, la relación C/N del estiércol no fue considerada directamente para el dimensionamiento del biodigestor pero fue utilizada para el cálculo de la relación C/N de la mezcla final que se muestra más adelante.

3.2. Producción de estiércol semanal

Se monitoreo la producción de estiércol por 9 días, correspondientes a los laborables del recinto ferial (martes, miércoles y domingo) completando un total de tres semanas, los resultados obtenidos se muestran a continuación en la tabla 2.3.

Tabla 2-3. Cuantificación de estiércol de vaca durante 3 semanas.

Día	Semana 1	Semana 2	Semana 3
Martes	41.31 kg	40.52 kg	37.30 kg
Miércoles	38.41 kg	36.50 kg	39.38 kg
Domingo	70.06 kg	68.54 kg	72.92 kg
Total	149.78 kg	145.56 kg	149.60 kg

Elaborado por: Rea, H (2017)

En la tabla 3-3 se muestra el promedio final de producción semanal de estiércol, finalizado el periodo de cuantificación del mismo.

Tabla 3-3. Promedio de la producción semanal de Estiércol de vaca.

Semana	Peso
Primera	149.78 kg
Segunda	145.56 kg
Tercera	149.60 kg
Promedio	148.31 kg

Elaborado por: Rea, H (2017)

Se obtuvo un promedio de producción semanal de estiércol de 148.31 kg (Tabla), además se visualizó que en el domingo se produce una mayor cantidad de estiércol en relación con los otros dos días laborables, esto se atribuye a que dicho día es el de mayor afluencia al recinto ferial. En función al resultado obtenido se procedió al dimensionamiento del biodigestor tomando un valor de inicio de 150 kg de estiércol de vaca por semana.

3.3. Dimensionamiento del biodigestor

La elección de diseñar un biodigestor discontinuo en el relleno sanitario del GAD municipal del cantón La Joya de los Sachas radica en la necesidad de disponer siempre de al menos un biodigestor en carga o en descarga, mientras que los restantes se encuentren en producción, como lo señala Varnero (2011) la implementación de un biodigestor discontinuo permitió tener las siguientes ventajas: se usó entre un 60% y 80% menos de agua que la que se usaría en digestores continuos y semi continuos, reduciendo el consumo del recurso hídrico y optimizando los recursos disponibles del lugar; adicionalmente este tipo de biodigestores no crean costras ni requieren agitación diaria, no sufren variaciones violentas de temperatura, demandan menos mano de obra que las cargas y descargas se realizan cada dos o tres meses; dichas ventajas posibilitaron que la implementación y manejo de los biodigestores en el relleno sanitario sean lo más sencillas posible permitiendo así transmitir esta tecnología a los empleados del lugar, evitando de esta manera contratar a personal extra.

Cabe considerar que el crecimiento bacteriano dentro de los biodigestores sigue la curva típica de crecimiento microbiano, conformada por las fases de latencia, exponencial, estacionario y muerte. El paso desde la fase de latencia hacia la fase exponencial puede disminuirse mediante la adición de una determinada cantidad de material proveniente de otro biodigestor, cuyo contenido presente un alto porcentaje de bacterias metanogénicas activas. Esto debe ser considerado especialmente en la implementación de biodigestores discontinuos ya que inician el proceso de fermentación desde cero en cada carga, de esta manera es posible alcanzar rápidamente la fase estacionaria, con lo que puede incrementarse la producción de biogás y biol por kg de estiércol (Varnero, 2011). Este

punto debe ser considerado para la puesta en marcha del biodigestor discontinuo de forma secuencial, es decir, permitirá manejar la producción semanal de estiércol del recinto ferial con lo cual se podrá obtener una mayor eficiencia en la generación de los productos deseados.

Como se indicó previamente se seleccionó un tanque de plástico de 200 L para la implementación del biodigestor, por lo tanto, los siguientes cálculos exponen la cantidad de sustrato que debe ser ingresado en el tanque, asignando un 90% del mismo para el sustrato y 10% como almacenamiento para el biogás.

Para el cálculo de la cantidad de sustrato se utilizó la siguiente ecuación:

$$V_s = C_R \times 0.90$$

$$V_s = 200 L \times 0.90$$

$$V_s = 180 L$$

Por lo tanto, la cantidad de sustrato que se debe utilizar fue de 180 L, tomando en cuenta una relación estiércol-agua de 1:2 se obtiene la siguiente proporción:

$$60 L \text{ de estiércol} + 120 L \text{ de agua} = 180 L \text{ de sustrato}$$

Considerando a la densidad del estiércol igual a la densidad del agua, se puede expresar la ecuación anterior de la siguiente manera:

$$60 \text{ kg de estiércol} + 120 \text{ kg de agua} = 180 \text{ kg de sustrato}$$

Los 60 kg de estiércol representan la porción de materia orgánica a ser utilizada, del total calculado se asignó 4 kg para ceniza de leña, 2.68 kg para melaza (2 L) y 4,096 kg para suero de leche (4 L), en función a lo expuesto por Restrepo (2007), en consecuencia, la cantidad de estiércol a ser utilizado será de 49.25 kg.

Considerando que la producción semanal de estiércol es de aproximadamente 150 kg, se construirá un total de 3 biodigestores discontinuos.

Los parámetros considerados para el diseño del biodigestor se muestran a continuación en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3. Parámetros considerados en el dimensionamiento del biodigestor.

Parámetro	Dato
Régimen	Discontinuo
Tiempo de retención	40 – 60 días
Temperatura media	24.8 °C
Volumen total	200 L
Volumen funcional	90%

Elaborado por: Rea, H (2017)

3.3.1. Relación C/N de la mezcla

Considerando los porcentajes de carbono y nitrógeno del estiércol de vaca obtenidos a partir de los análisis de laboratorio previamente realizados, se procedió al cálculo de la relación C/N de la mezcla.

$$K = \frac{\sum C_i X_i}{\sum N_i X_i}$$

$$K = \frac{(49.25 \text{ kg} \times 9.69) + (2.68 \text{ kg} \times 40.767) + (4 \text{ kg} \times 4.47) + (4.096 \text{ kg} \times 0.350)}{(49.25 \text{ kg} \times 0.84) + (2.68 \text{ kg} \times 0.245) + (4 \text{ kg} \times 0.15) + (4.096 \text{ kg} \times 0.409)}$$

$$K = \frac{605.80}{44.30}$$

$$K = 13.67 \approx 14$$

El valor obtenido de 14 se comparó con lo señalado por Soria. et al., (2000), el cual considera como aceptable a la relación de C/N para el desarrollo de los microorganismos cuando se encuentra entre el rango de 20-30:1, aunque Corace et al. (2006) indica que el valor ideal es de 16; tomando en cuenta los valores expuestos en la literatura el valor de 14 obtenido para la relación C/N de la mezcla se consideró como tolerable, por tanto, la mezcla planteada fue utilizada para la carga del biodigestor ya que cumplió con uno de los parámetros primordiales para que el proceso de fermentación sea exitoso.

Este parámetro ostenta relevancia ya que cuando la relación C/N es muy estrecha (10:1) se genera pérdidas de nitrógeno asimilable, en consecuencia, se disminuye la calidad del material que se encuentra en digestión. Por el contrario, si la relación es extensa (40:1) existe la inhibición del crecimiento a causa de la carencia de nitrógeno (Soria. et al., 2000).

3.3.2. Tiempo de retención teórico

Como ya se mencionó anteriormente el tiempo de retención es el periodo de permanencia de la materia orgánica dentro del biodigestor hasta alcanzar la degradación, sin embargo, el tiempo de retención está directamente relacionado con la temperatura ambiente (Olaya, 2006). A continuación, se exhibe el cálculo del tiempo de retención teórico considerando 24.8 °C como la temperatura media del lugar.

$$TR = (-51.227 \times \ln(T \text{ } ^\circ\text{C}) + 206.72)$$

$$TR = (-51.227 \times \ln(24.8) + 206.72)$$

$$TR = 42.23 \text{ días} \approx 42 \text{ días}$$

El resultado obtenido del cálculo del tiempo de retención teórico fue de 42 días, posteriormente este dato será comparado con el tiempo de retención real, que en el presente caso es considerado hasta el final de la producción de biogás del sistema.

3.4. Construcción y operación del biodigestor

Se construyó un total de tres biodigestores para los que se siguió el procedimiento que se detalla a continuación. Para la construcción del biodigestor se adaptó un tanque de plástico con un volumen de 200 L, en la Tabla 5-3 se enlistan los materiales utilizados en la construcción.

Tabla 5-3. Materiales y cantidades utilizadas para la construcción de 3 biodigestor

Materiales	Cantidad
Tanque de 200 L	3
Machón doble rosca macho PVC de 2"	6
Pasamuros roscado de 2"	9
Tapas PVC de 2"	6
Unión de ½"	3
Manguera de ½"	5 m
Pernos	35
Tuercas	35
Abrazaderas	3
Plástico transparente doble hoja de 1 x 2	1
Vigas de madera	4

Rollo de alambre	1
Botellas plásticas de 3 L	3
Pala	1

Elaborado por: Rea, H (2017)

Para la salida del biol en el tanque de plástico de 200 L en la parte lateral inferior se instaló un pasamuros roscado de 2", al que se acopló un machón doble rosca macho PVC de 2" junto con una tapa PVC de 2"; para asegurar la unión del pasamuros al taque se colocó pernos y tuercas alrededor del mismo. El mismo procedimiento se siguió para la entrada de la carga en el biodigestor en la tapa del tanque de plástico (Fotografía 1-3).



Fotografía 1-3. Instalación de la entrada de carga y salida de biol en el biodigestor

Elaborado por: Rea, H (2017)

Para la salida del biogás en la tapa de cada uno de los tanques se colocó un pasamuros roscado de 2", al cual se enroscó una unión de plástico de ½ pulgada. A continuación, se acopló un pedazo de manguera de 1 m de largo, adicionalmente para asegurar la unión entre la unión de plástico y manguera se situó una abrazadera metálica. En el extremo de la manguera se instaló una botella de plástico de 3 L de capacidad que contenía 2 L de agua (Fotografía 2-3). La instalación previamente descrita permitió la evacuación de los gases que se generaron durante el proceso de fermentación en el tanque (Restrepo, 2007).



Fotografía 2-3. Sistema de evacuación de gases del biodigestor.

Elaborado por: Rea, H (2017)

Finalmente se procedió al cierre hermético del tanque para poder asegurar el proceso de fermentación anaerobia. El tanque contaba con una tapa de cierre a presión junto con un empaque de caucho y abrazadera metálica que impiden el paso de aire (Fotografía 3-3).



Fotografía 3-3. Abrazadera metálica y empaque de caucho utilizados para el cierre hermético del tanque

Elaborado por: Rea, H (2017)

Se efectuó la prueba de hermeticidad previamente descrita, no se observó la presencia de fugas, al constatar la no presencia de agua en el exterior de la unión de los acoples y de la tapa del tanque (Fotografía 4-3). De esta manera se comprobó que la construcción de los biodigestores fue realizada correctamente, por lo tanto, se pudo proseguir con la carga del sustrato en los tanques.



Fotografía 4-3. Prueba de hermeticidad ejecutada a los biodigestores.

Elaborado por: Rea, H (2017)

Adicionalmente para precautelar la subsistencia de los biodigestores a las condiciones climáticas del lugar se construyó una cubierta de madera y plástico transparente. La construcción consistió en colocar los tres biodigestores uno a lado del otro con una distancia entre ellos de alrededor de 30 cm, en relación con el sitio en que se colocó los biodigestores se procedió a cavar 4 hoyos alrededor de ellos, con el propósito de formar un rectángulo, se cuidó que exista una distancia aproximada de 40 cm entre el hoyo y el biodigestor (Fotografía 5-3).



Fotografía 5-3. Colocación de las vigas de madera y alambre para la implementación de la cubierta para los biodigestores

Elaborado por: Rea, H (2017)

En cada hoyo se colocó una viga de madera de 1.50 m de altura y se procedió a su estabilización con el suelo previamente retirado, con ayuda de alambre se rodeó la parte superior de las vigas de madera para así formar un soporte para el plástico que constituyó la cubierta. Finalmente se colocó el plástico en la parte superior de la estructura montada, el mismo fue asegurado con alambre en la parte superior de cada una de las vigas de madera (Fotografía 6-3).



Fotografía 6-3. Construcción finalizada de los biodigestores y su respectiva cubierta.

Elaborado por: Rea, H (2017)

La composición de la carga del biodigestor se realizó en función a lo expuesto por Restrepo (2007), en la Tabla 6-3 se enlistan los ingredientes y la cantidad utilizada para la preparación de un volumen total de 180 L de mezcla.

Tabla 6-3. Ingredientes y cantidades utilizadas para la primera carga del biodigestor.

Ingredientes	Cantidades
Agua	120 L
Suero de leche	4 L
Melaza	2 L
Estiércol de vaca	50 kg
Ceniza de leña	4 kg

Elaborado por: Rea, H (2017)

En un recipiente de plástico de aproximadamente 200 L, se disolvió aproximadamente 50 kg de estiércol de vaca y los 4 kg de ceniza de leña en 100 L de agua sin cloro procedente de un pozo natural, hasta que la mezcla adquirió una consistencia homogénea. En un recipiente distinto se

disolvió en 10 L de agua sin cloro (de pozo natural), los 4 L de suero de leche junto con los 2 L de melaza, para posteriormente adjuntarlos a la mezcla obtenida entre el estiércol y la ceniza de leña (Fotografía 7-3).



Fotografía 7-3. Pesaje de ingredientes para la elaboración de la carga inicial del biodigestor.

Elaborado por: Rea, H (2017)

Una vez obtenida una mezcla homogénea entre todos los ingredientes se procedió a colocarlos en el biodigestor, se adicionó agua sin cloro (de pozo natural) hasta completar 180 L de capacidad del biodigestor. Finalmente se selló herméticamente el biodigestor para así iniciar el proceso de fermentación anaerobia (Fotografía 8-3).



Fotografía 8-3. Mezcla de los ingredientes de carga e implementación final de los biodigestores

Elaborado por: Rea, H (2017)

La digestión anaerobia del estiércol de vaca se realizó junto con melaza, suero de leche y ceniza, proceso denominado como co-digestión. El término de co-digestión es utilizado para referirse a la digestión anaerobia conjunta de dos o más sustratos de origen distinto. El hecho de haber utilizado una mezcla de componentes en la carga del biodigestor presentó ventajas debido a que se aprovecha la sinergia de las mezclas y se compensa las posibles deficiencias de los sustratos de forma individual (IDAE, 2007).

Como ya se indicó anteriormente la función de cada uno de los ingredientes utilizados es acrecentar la sinergia de la fermentación para así lograr una buena disponibilidad de los nutrientes para el desarrollo de las plantas y la mantención del suelo. El objetivo de la adición del suero de leche fue reavivar el mezcla preparada además de aportar con proteínas, vitaminas, grasas y aminoácidos para la formación de compuestos orgánicos durante el tiempo de fermentación; la principal finalidad de la melaza fue la contribución de energía para la activación del metabolismo, potencializando así el proceso de fermentación; en el caso de la ceniza de leña su adición contribuyó con minerales y elementos trazas que de igual manera activan y enriquecen el proceso (Restrepo, 2007). Adicionalmente la ceniza previno la acidificación, debido a que el biodigestor implementado es un sistema discontinuo no se ejecutó un recambio habitual del sustrato; lo que puede conllevar a una desmedida acidificación, anulando ya se de manera parcial o total la biodigestión ya que es letal para los microorganismos del proceso (Rojas, 2014).

Se comprobó la presencia del biogás a través de la prueba de la flama, la cual fue positiva al existir combustión del gas procedente de los tres tanques de plástico, la flama que se genero tuvo una coloración azulada, capaz de mantenerse en combustión por sí sola, lo que indico la generación de dióxido de carbono y metano en proporciones similares, por esta razón se consideró de forma preliminar al gas obtenido como óptimo para su uso (Varnero, 2001), requiriéndose un análisis más profundo para comprobar sus composición final,

3.4.1. Caracterización fisicoquímica del biol

El proceso de fermentación anaerobia se finalizó 60 días después del inicio de la fermentación cuando se constató que ya no existía la generación de biogás, lo que se realizó de manera visual al registrar la no presencia de burbujas en la botella conectada a la manguera de escape de gas, así como con un resultado negativa en la prueba de flama.

Por tanto, el tiempo de retención real de los biodigestores fue de 60 días comparándolo con el tiempo de retención previamente calculado de 42 días. Cabe recalcar que la temperatura media en el cantón La Joya de los Sachas durante el periodo de funcionamiento de los biodigestores entre los meses de febrero y marzo fue de 24.7°C con una temperatura mínima de 19.9°C y máxima de

29.8°C (Climate-Data, 2017). Silva (2002) cita que el proceso de fermentación puede desarrollarse en un amplio rango de temperaturas, desde 15°C hasta 60°C, obteniéndose una mayor eficiencia de conversión en el rango de 30°C a 35°C, es así que a pesar de la temperatura del lugar donde se construyó los biodigestores se encuentra dentro del rango amplio no se encuentra en el rango que se obtiene la mayor eficiencia por tanto se infiere que las variaciones en la temperatura del lugar influyeron en el tiempo de digestión y degradación de la materia orgánica dentro del biodigestor.

De cada uno de los biodigestores se obtuvo un total de 140 L de biol, el biol se caracterizó por presentar una coloración verde oscura con la presencia de nata espumosa color marrón en la superficie sin la presencia de sólidos a simple vista, se pudo notar un cambio en comparación a la coloración inicial marrón claro y la eliminación de grumos de estiércol, lo que indica que existió la degradación de la materia orgánica. Además, no presentaron un olor fecal sino más bien a fermento (Fotografía 9-3).



Fotografía 9-3. Recolección de muestras de biol una vez finalizado el proceso de fermentación.

Elaborado por: Rea, H (2017)

Los resultados expuestos son corroborados por Salazar (2012) quien expone que, cuando la materia fecal es utilizada como sustrato en una biodigestión, los colores como el verde oscuro y el negro son indicadores de una etapa avanzada de descomposición, sobre todo si el color final se diferencia significativamente con el color de la carga inicial.

El olor a putrefacción es signo de un proceso deficiente de descomposición, dicho olor no se notó en el biol obtenido procedente de los tres biodigestores; además el origen del mal olor en la

materia fecal es el amoníaco y otros compuestos nitrogenados procedentes de la descomposición de la materia orgánica; puesto que al ser sustancias oxidativas contribuyen en la putrefacción y la generación de olores indeseables (Rojas, 2014). López (2009) cita además que el amoníaco es tóxico para las bacterias metanogénicas y en concentraciones elevadas tiene la capacidad de inhibir el proceso de biodigestión.

A pesar de que la caracterización de color y olor son parámetros subjetivos representan el primer parámetro de evaluación para determinar si el proceso de biodigestión fue realizado con éxito. Como se comprobó en la presente investigación.

En las Tabla 7-3 se muestran los resultados de los análisis obtenidos de las muestras de biol recolectadas de los tres biodigestores.

Tabla 7-3. Resultados de los análisis de las muestras de biol de los 3 biodigestores.

Parámetro	Unidad	Biol 1	Biol 2	Biol3
Potencial hidrógeno	-	7.13	7.12	7.09
Materia orgánica	%	51.01	51.13	69.17
Carbono orgánico total	%	29.59	29.66	40.12
Nitrógeno total	%	2.55	2.56	3.46
Fósforo	mg/mL	36.54	36.17	64.01
Calcio	mg/kg	6.01	6.01	4.01
Potasio	mg/kg	43.01	43.01	39.01
Magnesio	mg/kg	8.51	7.30	6.08
Sodio	mg/kg	6.90	4.60	4.60
Potasio total	mg/kg	1316.75	1203.05	1391.69

Elaborado por: LABSU, (2017)

A continuación, en la Tabla 8-3 se presenta el cálculo de la desviación estándar y la media entre los resultados de los análisis obtenidos a partir del biol de los tres biodigestores.

Tabla 8-3. Cálculo de media aritmética y desviación estándar.

Parámetro	Unidad	s	\bar{x}
Potencial hidrógeno	-	0.02	7.11
Materia orgánica	%	10.45	57.10
Carbono orgánico total	%	6.06	33.12
Nitrógeno total	%	0.52	2.86
Fósforo	mg/mL	15.97	45.57
Calcio	mg/kg	1.15	5.34
Potasio	mg/kg	2.26	41.71
Magnesio	mg/kg	1.22	7.30
Sodio	mg/kg	1.33	5.37
Potasio total	mg/kg	94.98	1303.83

Elaborado por: Rea, H (2017)

Tabla 9-3. Cálculo del coeficiente de variación.

Parámetro	CV
Potencial hidrógeno	0.003
Materia orgánica	0.183
Carbono orgánico total	0.183
Nitrógeno total	0.183
Fósforo	0.350
Calcio	0.216
Potasio	0.054
Magnesio	0.167
Sodio	0.247
Potasio total	0.073

Elaborado por: Rea, H (2017)

En la tabla 9.3 se muestran los valores obtenidos del coeficiente de variación obtenidos de los resultados del análisis de los bioles, según Galindo (2015) un conjunto de datos es homogéneo si $CV \leq 1$ y es heterogéneo si $CV > 1.5$. Analizando el CV calculado para cada uno de los parámetros se observa que cada parámetro entre los tres biodigestores es homogéneo es decir no varía significativamente.

Este parámetro permite evaluar que, la eficiencia del diseño implementado y la carga base elegida fueron seleccionados convenientemente. Interpretando estos resultados tenemos que el contenido nutricional en los tres biodigestores es consistente, además de que el procedimiento ejecutado en la implementación individual de cada biodigestor fue la adecuado ya que se pudo replicar los resultados obtenidos.

Para determinar la calidad del biol obtenido se comparó la relación C/N inicial del sistema y del biol. La carga inicial del biodigestor contenía una relación C/N de 13.67, la misma que es inferior a la del biol que fue de 11.58; con lo cual se comprueba que las condiciones internas del biodigestor fueron las apropiadas y se redujo la cantidad de materia orgánica durante el proceso, corroborando los datos obtenidos por Silva (2013) en la construcción de un biodigestor anaerobio vertical semicontinuo. Al existir una reducción de la relación C/N se genera un incremento en la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, ya que se produce su mineralización; es decir los microorganismos liberan el nitrógeno en forma de amonio (NH_4^+) en el suelo, inmediatamente otro tipo de microorganismo transforma el amonio (NH_4^+) en nitrato (NO_3) el cual es fácilmente disponible para ser absorbido por las plantas (FAO, 2006).

El pH obtenido en el biol fue de 7.11, un pH relativamente neutro. Carrillo (2003) señala que los biodigestores que utilizan estiércol bovino su pH óptimo de operación entre 6.5 y 7.5, con un límite mínimo de 6.5 y un máximo de 8. En función a lo expuesto, se concluye que biodigestor trabajó correctamente ya que el pH de 7.1 del biol se encuentra dentro del rango establecido para un funcionamiento óptimo, de esta forma se favoreciendo la acción de las bacterias metanogénicas.

3.5. Costos de implementación

El costo de la implementación de los tres biodigestores contempla los costos directos, los materiales y herramientas utilizadas en la construcción y la mano de obra, a su vez también se considera los costos indirectos como el transporte, equipamiento personal y análisis fisicoquímicos de laboratorio.

3.5.1. Costos directos

A continuación, en la Tabla 10-3 se enlistan todos los materiales y herramientas utilizadas en la construcción de los biodigestores.

Tabla 10-3. Costo de materiales y herramientas.

Cantidad	Descripción	Costo Unitario	Costo Total
3	Tanque de 200 L	\$ 46.00	\$ 138.00
6	Machón doble rosca macho PVC de 2"	\$ 2.25	\$ 13.50
9	Pasamuros roscado de 2"	\$ 1.15	\$ 10.35
6	Tapas PVC de 2"	\$ 1.50	\$ 9.00
3	Unión de ½"	\$ 0.50	\$ 1.50
5 m	Manguera de ½"	\$ 0.35	\$ 1.75
35	Pernos	\$ 0.20	\$ 7.00
35	Tuercas	\$ 0.15	\$ 5.25
3	Abrazaderas	\$ 0.25	\$ 0.75
3	Botellas plásticas de 3 L	\$ 0.30	\$ 0.90
1	Plástico transparente doble hoja de 1 x 2	\$ 3.00	\$ 3.00
4	Vigas de madera	\$ 2.00	\$ 8.00
1	Rollo de alambre	\$ 0.75	\$ 0.75
1	Pala	\$ 10.00	\$ 10.00
Subtotal			\$ 209.75

Elaborado por: Rea, H (2017)

En la Tabla 11-3 se expone el costo de la mano de obra utilizado para la implementación el biodigestor.

Tabla 11-3. Costo de mano de obra.

Cantidad	Descripción	Salario/Hora	Horas de trabajo	Costo Total
1	Maestro mecánico	4.5	8	\$ 36.00
Subtotal				\$ 36.00

Elaborado por: Rea, H (2017)

El total del costo directo se presenta en la tabla 12-3.

Tabla 12-3. Costo total directo.

Descripción	Subtotal
Materiales y herramientas	\$ 209.75
Mano de obra	\$ 36.00
Total	\$ 245.75

Elaborado por: Rea, H (2017)

3.5.2. Costos indirectos

En los costos indirectos se tomó en cuenta el equipamiento personal utilizado para la toma de muestras, los análisis de laboratorio y transporte, en la tabla 13-3 se describe las herramientas utilizado para la toma de muestras que sumo un total de \$ 58.25.

Tabla 13-3. Costos de las herramientas para la toma de muestras

Cantidad	Descripción	Costo Unitario	Costo Total
1 par	Botas de caucho	\$ 8.00	\$ 8.00
3	Balde de plástico	\$ 5.00	\$ 15.00
1 caja	Guantes de látex	\$ 7.00	\$ 7.00
1 paquete	Fundas Ziploc	\$ 3.25	\$ 3.25
1	Balanza	\$ 25.00	\$ 25.00
Subtotal			\$ 58.25

Elaborado por: Rea, H (2017)

En la tabla 14-3 se describe la inversión requerida para el análisis tanto del estiércol como del biol que fue de \$ 535.29.

Tabla 14-3. Costo de análisis de laboratorio.

Ensayo	Laboratorio	Costo Unitario	Costo Total
Análisis fisicoquímicos de estiércol de vacas	LABSU	\$ 93.9	\$ 281.7
Análisis químico de muestras de biol	LABSU	\$ 84.53	\$ 253.59
Subtotal			\$ 535.29

Elaborado por: Rea, H (2017)

En la tabla 15-3 se describe el total de los costos indirectos que supuso la implementación del biodigestor que es de \$ 633.54.

Tabla 15-3. Costo total indirecto

Descripción	Subtotal
Equipamiento personal	\$ 58.25
Análisis de laboratorio	\$ 535.29
Transporte	\$ 40.00
Total	\$ 633.54

Elaborado por: Rea, H (2017)

3.5.3. Costo total

Finalmente, para el cálculo del costo total de implementación se sumó el total de los costos directos e indirectos como se muestra en la Tabla 16-3, dando un costo total de \$ 879.29.

Tabla 16-3. Costo total indirecto.

Descripción	Valor
Costos directos	\$ 245.75
Costos indirectos	\$ 633.54
Costo Total	\$ 879.29

Elaborado por: Rea, H (2017)

3.6. Propuesta final

En función a los resultados obtenidos se propone la instalación de un planta de biodigestión para el relleno sanitario del cantón Joya de los Sachas, el cálculo del número total de biodigestores se realizó en función al tiempo de retención el cual es de 60 días es decir aproximadamente ocho semanas, con el fin de abarcar los 150 kg semanales para el número de semanas mencionadas, se requiere de un total de 24 biodigestores, los cuales se irán llenando de tres en tres semana a semana, hasta llegar a la semana ocho, donde finalizada la misma, se vaciara el biol y biosol obtenido de los biodigestores correspondientes a la semana 1, estos se volverán a llenar con el sustrato y se continuara con el ciclo de vaciado y llenado para las siguientes semanas, adicionalmente se consideró la construcción de 3 biodigestores extras, mismos que servirán en el caso de que exista una generación extra de estiércol, este excedente se producirá debido a que el aumento poblacional hará que la gente requiera de una mayor cantidad de carne por lo tanto el número de reses que diariamente se comercialicen en el recinto ferial aumentara.

Además, se dispondrá de un área destinada al almacenamiento del estiércol proveniente del recinto y los sustratos a utilizarse, y otra para el biol obtenido. La planta de biodigestión formará parte de Relleno Sanitario se ubicará a un costado del invernadero del relleno, las plántulas del mismo serán las primeras en usar el biol producido por la planta, en el gráfico 1-3 se muestra su ubicación dentro del relleno.

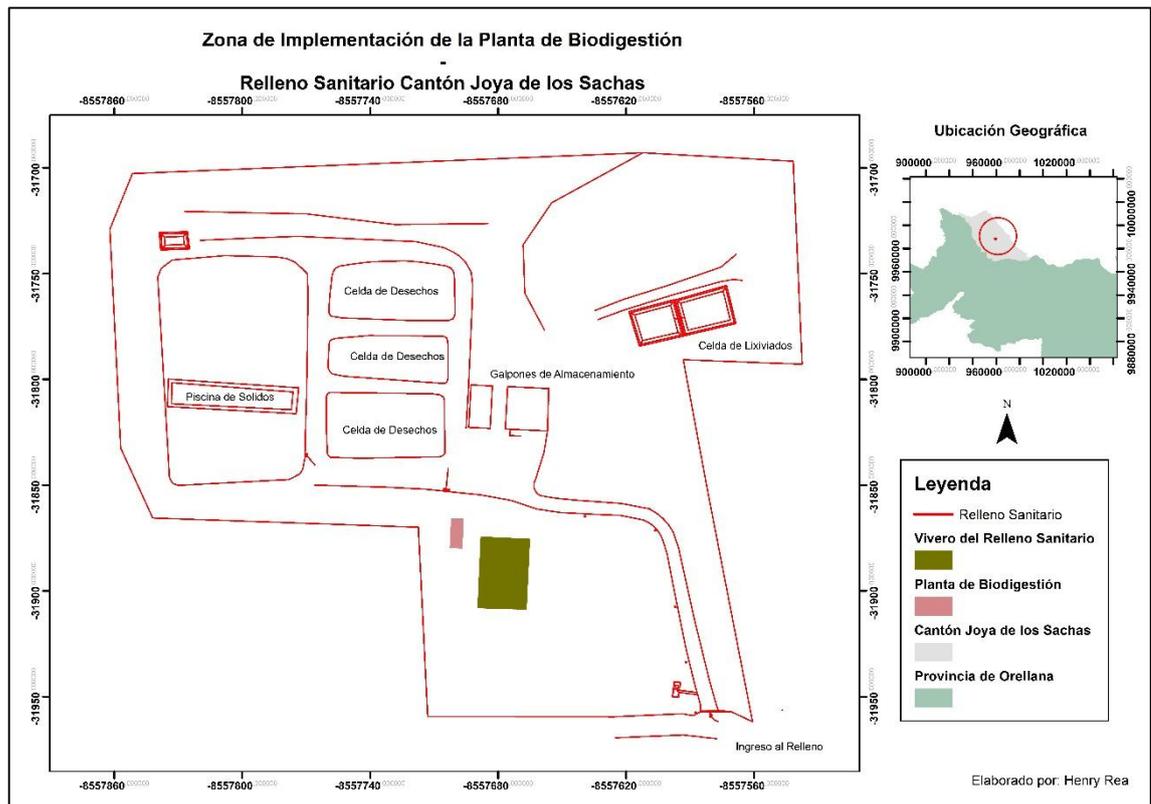


Gráfico 1-3. Ubicación de la planta de biodigestión dentro del relleno sanitario

Elaborado por: Rea, H (2017)

El área total será de 84 m², con un largo de 14 m por un ancho de 6 m, las áreas destinadas al almacenamiento serán de 10 m², con un largo de 4 m por un ancho de 2.5 m, la distancia entre biodigestores será de 0.40 m y entre cada fila de 1 m, esto facilitará la carga de los sustratos y el vaciado de los productos finales, la distribución del área para la planta se describe en el gráfico 2-3.

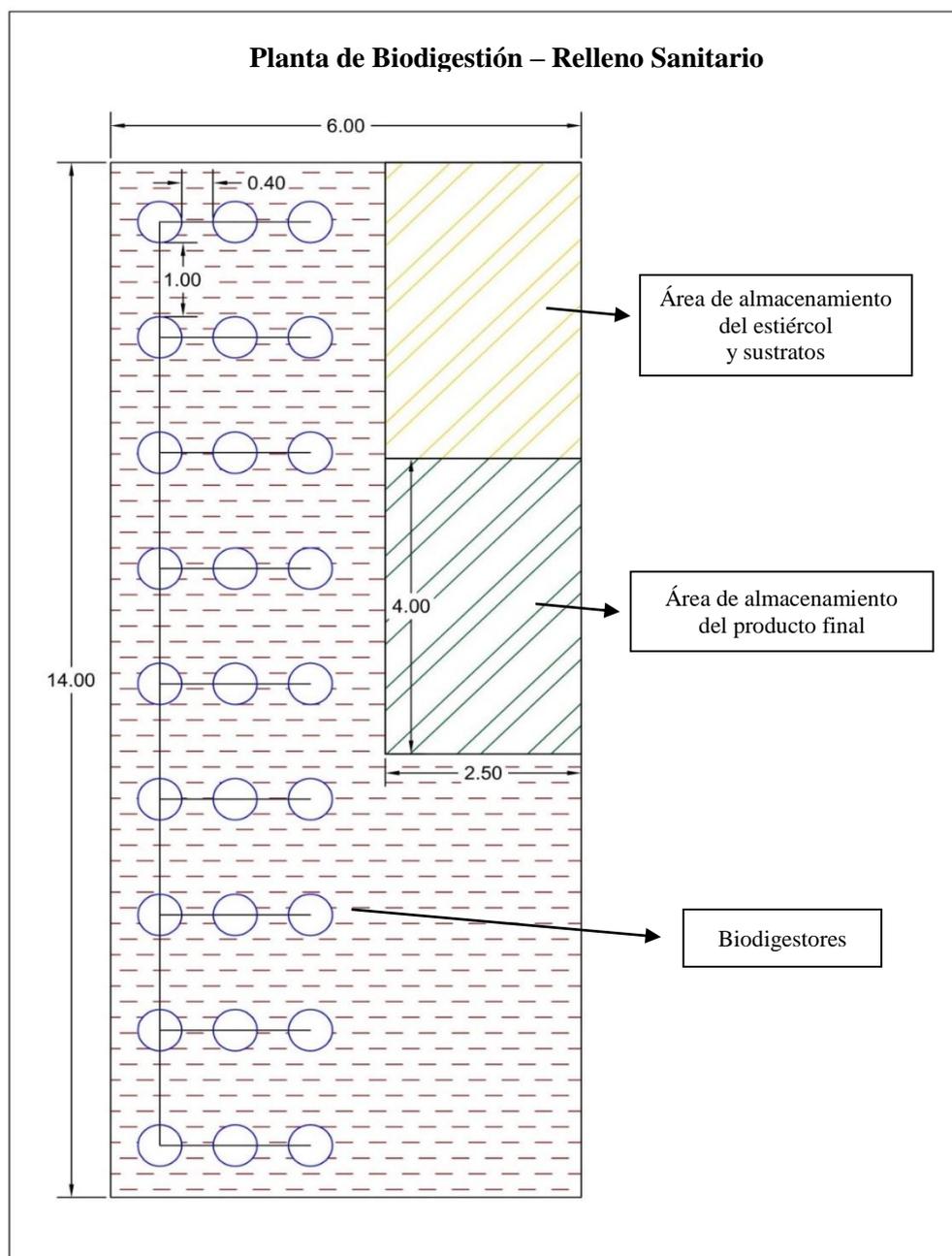


Gráfico 2-3. Distribución de la planta de biodigestión para el relleno sanitario

Elaborado por: Rea, H (2017)

En gráfico 3-3 se presente la vista frontal y superior de los biodigestores a implementarse en el relleno sanitario del cantón Joya de los Sachas

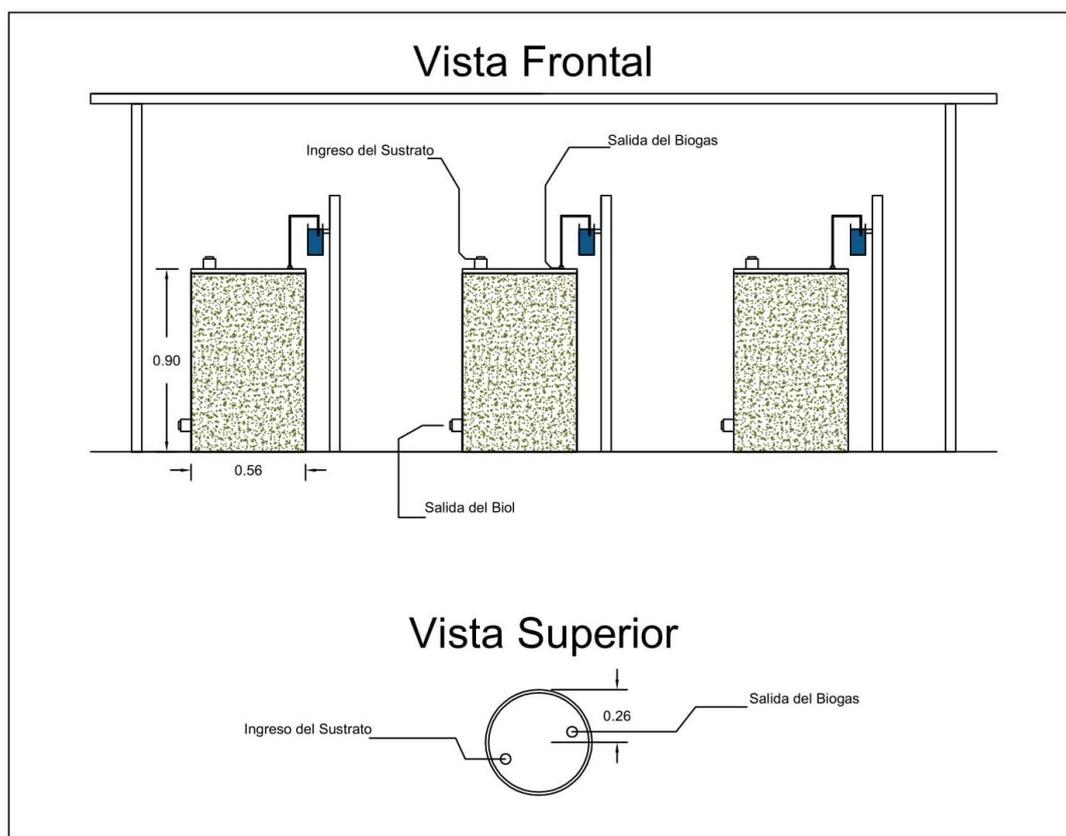


Gráfico 3-3. Vista frontal y superior de los biodigestores

Elaborado por: Rea, H (2017)

De forma complementaria se realizó el estudio de lluvias intensas para esto se usó el nivel de precipitación anual del cantón la joya de los sachas el cual varía entre los 3300mm y 3600 mm anuales con una regularidad en todo el año, estos datos fueron tomados de la estación Nuevo Rocafuerte y se aplicaron en la siguiente ecuación.

Ecuación	Duración	Altura
$I \text{ TR} = 65,193 I^{-0,3768} \text{ Id TR}$	5min<85min	265msnm

- TR = 5 años (4,50)
- I = 140,92 mm/h

La duración de la lluvia de diseño es igual al tiempo de concentración del área de estudio que en este caso es de 84m² debido a que en ese tiempo la escorrentía alcanza su valor máximo.

Utilizando el método racional obtendremos el caudal ya que con 140,92 mm/h que es valor de precipitación máxima para poder ver la profundidad del canal a realizar alrededor del área establecida para los biodigestores con una inclinación de 0,5% obtendremos que:

- $Q = I \cdot C \cdot A / 3600$ $Q = 2,30 \text{ L/s}$
- $I = 140,92 \text{ mm/h}$
- $C = 0,7$
- $A = 84 \text{ m}^2$

El canal obtenido e idóneo para la precipitación máxima tendremos de 20 cm de profundidad y 20 cm de ancho en modo de un triángulo para que el agua acumulada en los canales y con la inclinación de 0,5% se desplace hacia fuera del área de los biodigestores (Gráfico 4-3).

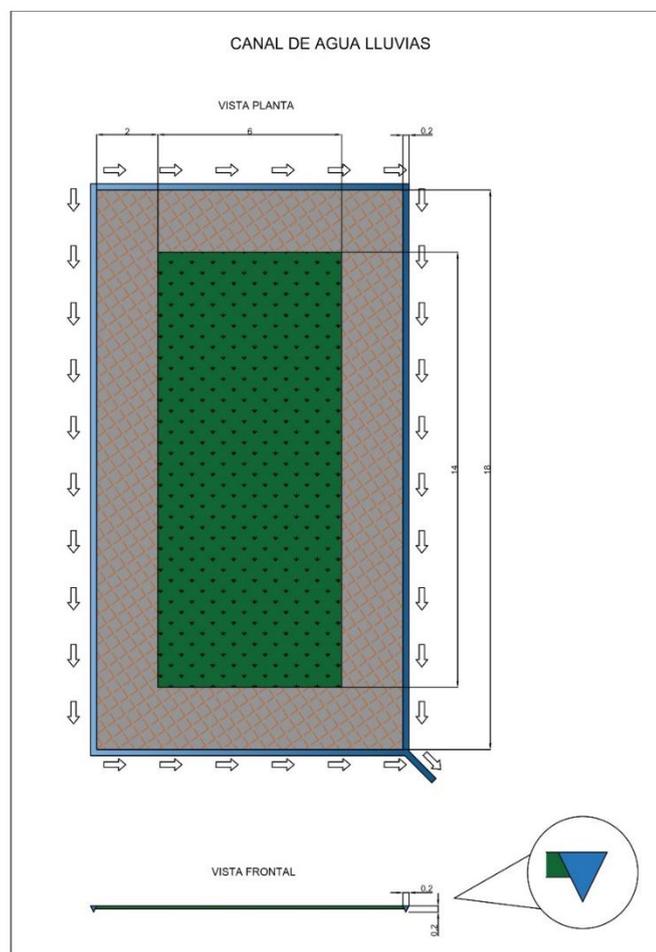


Gráfico 4-3. Diseño de canaletas para la evacuación de agua lluvia de la planta de biodigestión

Elaborado por: Rea, H (2017)

CONCLUSIONES

- El cálculo de la relación C/N para el sustrato (estiércol, suero de leche, melaza y ceniza) es de 13.67.
- La eficiencia de los biodigestores implementados se evaluó al verificar la reducción de la relación C/N del biol (11.58) en comparación con la inicial del sustrato (13.67), además se constató que el pH final del biol fue de 7.1, valor que se encontró dentro del rango óptimo para el funcionamiento del biodigestor, lo que favoreció el desarrollo adecuado de las bacterias metanogénicas.
- La variación de la temperatura ambiente incrementó el tiempo de retención calculado de 42 días a 60 días debido a que las temperaturas registradas en el cantón La Joya de los Sachas variaron.
- El diseño final implementado en el relleno sanitario consto de tres biodigestores discontinuos con un volumen individual de 200 L, cuyo contenido de sustrato fue de 50 kg de estiércol de vaca, 4 L de suero de leche, 2 L de melaza, 4 kg de ceniza de leña y 120 L de agua, obteniéndose un total de 140 L de biol por cada biodigestor a los 60 días de iniciado el proceso de digestión anaerobia.
- El biol producido se caracterizó por presentar una consistencia líquida libre de grumos, de coloración verde oscura y nata espumosa de color marrón en su superficie, además se eliminó el olor fecal característico y se distinguió un olor a fermento.
- Mediante el coeficiente de variación se verificó que la composición química del biol obtenido en los tres biodigestores fue homogénea, confirmándose así que la construcción de los biodigestores fue la correcta y que los resultados pueden ser replicados a futuro.

RECOMENDACIONES

- En una segunda etapa implementar un tanque de almacenamiento para el biogás producido.
- Como parte de la segunda etapa, implementar infraestructura complementaria para el acopio y almacenamiento del estiércol producido en el recinto ferial.
- Se recomienda realizar pruebas de campo con el biol obtenido para poder constatar su aporte nutricional en el crecimiento de plantas.
- Probar distintas mezclas de sustrato utilizando residuos orgánicos generados en el sector para enriquecer el contenido nutricional del biol obtenido.

BIBLIOGRAFÍA

APARCANA, Sandra. Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso "Fermentación Anaeróbica" para producción de biogas. [En línea] *Professional Energy and Environmental Consultancy*. 2008. [Consulta: 03 de septiembre de 2017]. Disponible en: http://www.german-profec.com/cms/upload/Reports/Estudio%20sobre%20el%20Valor%20Fertilizante%20de%20los%20Productos%20del%20Proceso%20Fermentacion%20Anaerobica%20para%20Produccion%20de%20Biogas_ntz.pdf.

BELLOTE, Antonio. *Efecto de la aplicación de ceniza de caldera y residuo de celulosa en el suelo y en el crecimiento de Eucalyptus grandis*. 1995, Bosque - Universidad Austral de Chile, pág. 96.

BRITO, H. et al. *Generación de biogas a partir de estiércol de ganado a nivel de finca en el oriente ecuatoriano*. 2016. *ResearchGate*, 1-12.

CARBALLAS, L. *Bioles*. Quito : s.n., 1999.

CARRILLO, L. *Microbiología Agrícola*. Salta : Universidad Nacional de Salta, 2003. pág. 16.

CHÁVEZ, Luis, ALONSO, Francisco y ESPINOSA, Valentín. Manejo del estiércol indicador de sustentabilidad ambiental. [En línea] *BM-Editores*. 2014. [Consulta: 03 de septiembre de 2017]. Disponible en: <http://bmeditores.mx/manejo-del-estiércol-indicador-de-sustentabilidad-ambiental/>.

CHILLO, Jonathan. Implementación de un Biodigestor continuo para producción de biogás a partir de estiércol de ganado vacuno en la finca la Poderosa. [En línea] (Tesis). (Titulación). *Repositorio de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador*. 2015. [Consulta: 04 de septiembre de 2017]. Disponible en: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/4773/1/236T0140.pdf>.

CLIMATE-Data. Clima: Joya de los Sachas. [En línea] *Climate-Data*. 2017. [Consulta: 03 de septiembre de 2017]. Disponible en: <https://es.climate-data.org/location/25417/>.

CORACE, J J. et al., *Comparación del tiempo de reacción en el proceso de biodigestión según el tamaño de las partículas de aserrín utilizando como materia orgánica*. 2006, Comunicaciones Científicas y Tecnológicas - Universidad Nacional del Nordeste, pág. 4.

DURÁN, Luis. *Manual de cultivos orgánicos y alelopatía.* Ciliacán : Grupo Latino LTDA, 2004.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura . FAO. La ganadería amenaza el medio ambiente. [En línea] *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación.* 2006. [Consulta: 04 de septiembre de 2017]. Disponible en: <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2006/1000448/index.html>.

GABLER, Francisca. Estiercol de ganado contribuye al calentamiento global. [En línea] *Veoverde.* 2011. [Consulta: 04 de septiembre de 2017]. Disponible en: <https://www.veoverde.com/2011/02/estiercol-de-ganado-contribuye-al-calentamiento-global/>.

GALINDO, Edwin. *Estadística: Métodos y Aplicaciones.* Tercera. Quito : ProCiencia Editores, 2015.

GARCÍA, Alejandro. Calidad alimentaria de la mezcla de cerdo y esquilmos agrícolas deshidratada al sol para bovinos de engorde. [En línea] (Tesis). (Maestría). *Repositorio de la Universidad de Colima. Colima, Mexico.* 2000. [Consulta: 04 de septiembre de 2017]. Disponible en: http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/Alejandro%20Garcia%20Rodriguez.pdf.

GARCÍA, Karina. Codigestión anaeróbica de estiércol y lodos de depuradora para producción de biogas. [En línea] (Tesis). (Maestría). *Departamento tecnología del medio ambiente, facultad de ciencias del mar y ambientales - Universidad de Cádiz. Andalucía, España.* 2009. [Consulta: 04 de septiembre de 2017]. Disponible en: <http://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/7413/VERSION%20FINAL.pdf?sequence=1>.

GONZÁLEZ, Alfredo. Aplicación y efecto residual del estiércol en la producción y calidad del buffel en el trópico seco. [En línea] (Tesis). (Maestría). *Universidad de Colima. Colima, Mexico.* 1995. [Consulta: 04 de septiembre de 2017]. Disponible en: http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/Alfredo%20Gonzalez%20Sotelo.pdf.

GUEVARA, V. *Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales - Producción de gas y saneamiento de efluentes.* Lima : Organización Panamericana de la Salud, 1996.

HILBERT, Jorge. Manual para la producción de biogas. [En línea] *Instituto de Ingeniería Rural - Argentina.* 2003. [Consulta: 10 de septiembre de 2017]. Disponible en: <http://www.kpesic.com/sites/default/files/Manual%20para%20la%20produccion%20de%20biogas%20del%20IIR.pdf>.

Instituto para la diversificación y ahorro de la energía. IDAE. Biomasa: Digestores anaerobios. [En línea] *Instituto para la diversificación y ahorro de la energía - Gobierno de España*. 2007. [Consulta: 05 de septiembre de 2017]. Disponible en: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_Biomasa_digestores_07_a996b846.pdf.

JARAUTA, L. Digestion anaerobia para el tratamiento de residuos organicos: estudio de las becesidades para la implementación en Perú. [En línea] (Tesis). (Titulación). *Repositorio de la Universidad Politecnica de Cataluña. Cataluña, España*. 2005. [Consulta: 03 de septiembre de 2017]. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/2008/05_invest_JARAUTA.pdf.

LARA, Marlon Fabricio. Diseño de un biodigestor para la produccion de biogás generado por las excretas de ganado vacuno, en el criadero "Jersey Chugllin". [En línea] (Tesis). (Titulación). *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador*. 2016. [Consulta: 10 de septiembre de 2017]. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/6261/1/236T0242.pdf>.

LÓPEZ, C. *Diseño, construcción y puesta en operación de un biodigestor anaerobio continuo para el laboratorio de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana*. Veracruz : Universidad Veracruzana, 2009.

LÓPEZ, P y ANTONIO, C. Valoración del estiercol de cerdo a traves de la produccion de biogas. [En línea] *Academia. Bogota, Colombia*. 2003. [Consulta: 15 de septiembre de 2017]. Disponible en: [http://www.academia.edu/9681164/VALORIZACION% C3% 93N _DEL _ESTI% C3% 89RCOL _DE _CERDO _A _TRAV% C3% 89S _DE _LA _PRODUCCION _DE _BIOG% C3% 81S](http://www.academia.edu/9681164/VALORIZACION_DEL_ESTIERCOL_DE_CERDO_A_TRAVÉS_DE_LA_PRODUCCIÓN_DE_BIOGÁS).

MARTÍ, Jaime. Biodigestores Familiares: Guía de Diseño y Manual de Instalación. [En línea] *Biblioteca Virtual de la Cooperación Alemana en Bolivia. La Paz, Bolivia*. 2008. [Consulta: 17 de septiembre de 2017]. Disponible en: <http://www.bivica.org/upload/biodigestores-familiares.pdf>.

MARTÍNEZ, Wilson. Biodigestores una alternativa a la autosuficiencia energetica y de biofertilizantes. [En línea] *Academia Quindio, Colombia.*. 2005. [Consulta: 08 de septiembre de 2017]. Disponible en: http://www.academia.edu/8184562/Biodigestores_Una_alternativa_a_la_autosuficiencia_energetica_y_de_biofertilizantes.

OLAYA, Y. Diseño de un biodigestor de cúpula fija. Palmira : Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, 2006.

OLAYA, Yeison. Fundamentos para el diseño de Biodigestores. [En línea] *Repositorio de a Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia.* 2009. [Consulta: 07 de septiembre de 2017]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/7967/4/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf>.

PAZMIÑO, Amanda. Diseño, construcción e implementación de un digestor anaerobio de flujo continuo para el tratamiento de estiércol bovino en la finca "Rancho Santa Esther" del sector "La Delicia" parroquia Tulcán, cantón Tulcán, Provincia del Carchi, Ecuador. [En línea] (Tesis). (Titulación). *Repositorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas. Quito, Ecuador.* 2012. [Consulta: 11 de septiembre de 2017]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6243/1/T-ESPE-047014.pdf>.

PEREZ, Javier. Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en pequeños ganaderos y lecheros. [En línea] (Tesis). (Titulación). *Repositorio de la Universidad de Chile. Santiago, Chile.* 2010. [Consulta: 12 de septiembre de 2017]. Disponible en: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103926/cf-perez_jm.pdf?sequence=3

PORRAS, Diego. Obtención de bioabono mediante biodegradación de desechos orgánicos generados en la ciudad de Latacunga. [En línea] (Tesis). (Titulación). *Repositorio de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.* 2013. [Consulta: 04 de septiembre de 2017]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1866/1/T-UCE-0008-10.pdf>.

RESTREPO, Jairo. *Biofertilizantes preparados y fermentados a base de mierda de vaca.* Cali : Feriva S.A., 2007.

ROBALINO, Homero. Evaluación de la actividad biológica y nutricional del biol en diferentes formulaciones y la respuesta a su aplicación en cultivos de arroz (*Oriza sativa*) y maíz (*Zae mays*), en Guayas. [En línea] (Tesis). (Titulación). *Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.* 2011. [Consulta: 20 de septiembre de 2017]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/16917/3/Tesis%20H.Robalino%20Final%20PMBA%20julio%202011.pdf>.

RODRÍGUEZ, Claudia. Residuos Ganaderos. [En línea] *Producción Animal - Argentina.* 2002. [Consulta: 11 de septiembre de 2017]. Disponible en: http://www.produccion-animal.com.ar/sustentabilidad/05-residuos_ganaderos.pdf.

ROJAS, Hugo Ricardo. Estudio del efecto de la aplicación de microorganismos efectivos en la calidad del biol en un proceso de biodigestión anaeróbica. [En línea] (Tesis). (Titulación). *Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Peru.* 2014. [Consulta: 27 de septiembre de 2017]. Disponible en: http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1878/F04_R633%20-T.pdf?sequence=1.

SALAZAR, J. *Producción de biogás y biol a partir de excretas de ganado: Experiencias en la ciudad de Tacna.* Tacna : s.n., 2012.

SILVA, Juan. Tecnología del Biogás. [En línea] *BVSDE - PAHO.* Septiembre de 2002. [Consulta: 04 de septiembre de 2017]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/biogas.pdf>.

SILVA, María del Rosario. Diseño, construcción e implementación de un biodigestor anaerobio vertical semicontinuo piloto, para la obtención de gas metano y biol a partir de cascara de naranja en la empresa Ecopacific, Amaguaña, provincia de Pinchica, Ecuador . [En línea] (Tesis). (Titulación). *Repositorio de la Escuela Politecnica del Ejercito. Quito, Ecuador.* 2013. [Consulta: 27 de septiembre de 2017]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6269/1/AC-ESPE-037780.pdf>.

Sistema BioBolsa. SISTEBIO. Manual de Biol. [En línea] *Sistema BioBolsa.* 2009. [Consulta: 11 de septiembre de 2017]. Disponible en: <http://sistemabiobolsa.com/pdf/manualDeBiol.pdf>.

SORIA, Manuel, FERRERA, Ronald y ETCHEVERS, Jorge. *Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo.* México : Instituto Tecnológico Agropecuario, 2000. págs. 354-355.

SUQUILANDA, M. *Fertilización orgánica. Manual Técnico.* Quito : Ediciones IPS, 1995. págs. 54-64.

TOALA, Edwin. Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogas a partir del estiércol de ganado en el rancho Verónica. [En línea] (Tesis). (Titulación). *Repositorio de la Escuela Superior Politecnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.* 2013. [Consulta: 08 de septiembre de 2017]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/3406/1/236T0100.pdf>.

Unidad de planeación minero energética. UPME. Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás. [En línea] *Unidad de Planeación Minero Energética.* 2003. [Consulta: 15 de septiembre de 2017]. Disponible en:

http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/normalizacion/GUIA_PARA_LA_IMPLEMENTACION_DE_SISTEMAS_DE_PRODUCCION_DE_BIO.pdf

VARNERO, María. Manual del Biogás. [En línea] *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*. 2011. [Consulta: 08 de septiembre de 2017]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>.

VARNERO, María Teresa. *Manual del Biogás*. Santiago de Chile : Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2011.

WORDPRESS. Clasificación de Biodigestores. [En línea] *Energía Casera*. 2009. [Consulta: 27 de septiembre de 2017]. Disponible en: <https://energiacasera.wordpress.com/2009/09/17/clasificacion-de-biodigestores/>.

YAULI, Ana. Manual para el manejo de desechos sólidos en la unidad educativa Dario Guevara, parroquia Cunchibamba, cantón Ambato, provincia de Tungurahua. [En línea] (Tesis). (Titulación). *Repositorio de la Escuela Superior Politecnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador*. 2011. [Consulta: 03 de septiembre de 2017]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1298/1/26T00005.pdf>.

ANEXOS

ANEXO A. Análisis de laboratorio de las muestras de estiércol

 <p>Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas</p>	VICARATO APOSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax: (593)06- 2881105		Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003
	INFORME DE ENSAYO N°: 110 770		
SPS: 16 - 0 284		Análisis de Suelos	

Coca, 02 de noviembre de 2016

Sr. Henry Rea.
 Dirección: Joya de los Sachas.

1.- Datos generales:
 Recogidas por Sr. Henry Rea.
 Fecha hora de toma de muestra 2 016 10 06 06:30.
 Fecha hora ingreso al Laboratorio 2 016 10 06 10:10.
 Fecha del análisis 2 016 10 06 a 2 016 11 02.
 Condiciones Ambientales de Análisis... T. Máx: 27,0°C T. Mín: 22,0°C
 Código de LabSu Identificación de la muestra.
 s 12 549 Muestra de estiércol de ganado muestra 1.

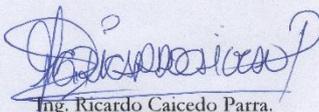
2.- Resultados / Parámetros y métodos / referencias:

Ítem	Parámetros	Unidad	s 12 549	PEE-LABSU	Método / Norma / Referencia	Incertidumbre (K = 2)
1	Potencial Hidrógeno	~	7,43	PEE-LABSU-12	EPA 9040C	± 0,10
2	*Sólidos totales	%	13,66	PEE-LABSU-49	SM 2540 B	~
3	*Sólidos totales volátiles	%	8,68	PEE-LABSU-38	Gravimetría	~
4	*Materia orgánica	%	15,40	PEE-LABSU-67	GRAVIMETRICO	~
5	*Carbono orgánico Total	%	8,98	PEE-LABSU-66	EPA 9060	~
6	*Nitrógeno total	%	0,77	PEE-LABSU-71	KJELDAHL, EPA 351.2	~
7	*Humedad	%	73,76	PEE-LABSU-38	Gravimetría	~
8	*Potasio	mg/Kg	14 699,81	PEE-LABSU-06/76	Booker Tropical Soil Manual	~
9	*Zinc	mg/Kg	37,66	PEE-LABSU-06/77	Booker Tropical Soil Manual	~
10	*Cobre	mg/Kg	< 10,00	PEE-LABSU-06/77	Booker Tropical Soil Manual	~
11	*Hierro	mg/Kg	702,40	PEE-LABSU-06/77	Booker Tropical Soil Manual	~
12	*Recuento de microorganismos	col/g	6,90x10 ⁶	PEE-LABSU-82	Methods in applied soil	~

3.- Responsables del Informe:


 Autorización: Téc. Andres Solis Plaza.
 DIRECTOR TÉCNICO




Ing. Ricardo Caicedo Parra.
 RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.
 Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.
 Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE

MC2201-04 Página 1 de 1

Figura 1A. Muestra 1

 <p>Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas</p>	<p>VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax: (593)06- 2881105</p>	<p>Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003</p>
	<p>INFORME DE ENSAYO N°: 110 771</p>	
SPS: 16 - 0 278	Análisis de Suelos	

Coca, 02 de noviembre de 2016

Sr. Henry Rea.

Dirección: Joya de los Sachas.

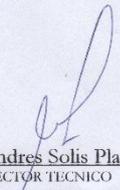
1.- Datos generales:

Recogidas por Sr. Henry Rea.
 Fecha hora de toma de muestra 2 016 10 06 06:30.
 Fecha hora ingreso al Laboratorio 2 016 10 06 10:10.
 Fecha del análisis 2 016 10 06 a 2 016 11 02.
 Condiciones Ambientales de Análisis... T. Máx: 27,0°C T. Mín: 22,0°C
 Código de LabSu Identificación de la muestra.
 s 12 550 Muestra de estiércol de ganado muestra 2.

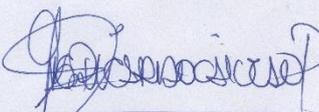
2.- Resultados / Parámetros y métodos / referencias:

Ítem	Parámetros	Unidad	s 12 550	PEE-LABSU	Método / Norma / Referencia	Incertidumbre (K = 2)
1	Potencial Hidrógeno	~	6,64	PEE-LABSU-12	EPA 9040C	± 0,03
2	*Sólidos totales	%	13,15	PEE-LABSU-49	SM 2540 B	~
3	*Sólidos totales volátiles	%	8,63	PEE-LABSU-38	Gravimetría	~
4	*Materia orgánica	%	17,93	PEE-LABSU-67	*GRAVIMETRICO	~
5	*Carbono orgánico Total	%	10,40	PEE-LABSU-66	EPA 9060	~
6	*Nitrógeno total	%	0,90	PEE-LABSU-71	KJELDAHL, EPA 351.2	~
7	*Humedad	%	86,27	PEE-LABSU-38	Gravimetría	~
8	*Potasio	mg/Kg	10 755,01	PEE-LABSU-06/76	Booker Tropical Soil Manual	~
9	*Zinc	mg/Kg	43,16	PEE-LABSU-06/77	Booker Tropical Soil Manual	~
10	*Cobre	mg/Kg	12,43	PEE-LABSU-06/77	Booker Tropical Soil Manual	~
11	*Hierro	mg/Kg	929,67	PEE-LABSU-06/77	Booker Tropical Soil Manual	~
12	*Recuento de microorganismos	col/g	7,2x10 ⁶	PEE-LABSU-82	Methods in applied soil	~

3.- Responsables del Informe:

Autorización: 
Téc. Andrés Solís Plaza.
 DIRECTOR TÉCNICO




Ing. Ricardo Caicedo Parra.
 RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.
 Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.
 Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE

MC2201-04

Página 1 de 1

Figura 2A. Muestra 2

ANEXO B. Análisis de laboratorio del biol obtenido en los biodigestores

 <p>Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas</p>	VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax: (593) 06- 2881105		Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003
	INFORME DE ENSAYO N°: 112 912		
SPS: 17 - 0 691	Análisis de agua		

Coca, 20 de abril de 2017

Sr. HENRY REA.

Dirección: Joya de los Sachas.

1.- Datos generales:

Recogidas por Sr. Henry Rea
 Fecha hora de toma de muestra 2 017 03 06 15:00.
 Fecha hora ingreso al Laboratorio 2 017 03 06 17:15.
 Fecha del análisis 2 017 03 06 a 2 017 04 10
 Condiciones Ambientales de Análisis... T. Máx: 27,0°C T. Min: 22,0°C
 Código de LabSu Identificación de la muestra.
 a 4848 Muestra de Biol, # T1 Relleno Sanitario

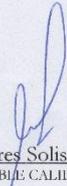
2.- Resultados / Parámetros y métodos / referencias:

Ítem	Parámetros	Unidad	a 4 848	PEE-LABSU	Método / Norma / Referencia
1	Potencial hidrógeno	~	7,13	PEE-LABSU-12	EPA 9040C
2	Materia orgánica	%	51,01	PEE-LABSU-67	GRAVIMETRICO
3	Carbono orgánico Total	%	29,59	PEE-LABSU-66	EPA 9060
4	Nitrógeno total	%	2,55	PEE-LABSU-71	KJELDAHL, EPA 351.2
5	Fósforo	mg/l	36,54	PEE-LABSU-73	Booker Tropical Soil Manual
6	Calcio	mg/Kg	6,01	PEE-LABSU-06/76	Booker Tropical Soil Manual
7	Potasio	mg/Kg	43,01	PEE-LABSU-06/76	Booker Tropical Soil Manual
8	Magnesio	mg/Kg	8,51	PEE-LABSU-06/76	Booker Tropical Soil Manual
9	Sodio	mg/Kg	6,90	PEE-LABSU-06/76	Booker Tropical Soil Manual
10	Potasio total	mg/Kg	1 316.75	PEE-LABSU-33	SM3030 B, 3111 B

3.- Responsables del Informe:

Autorización: 
 Ing. Gilberto López Pérez.
 DIRECTOR TÉCNICO




 Téc. Andrés Solís Plaza.
 RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.
 Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.
 Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE

MC2201-05

Página 1 de 1

Figura 1B. Biodigestor 1

 <p>LABSU Laboratorio de Suelo, Aguas y Plantas</p>	VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax: (593)06- 2881105		Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003
	INFORME DE ENSAYO N°: 112 913		
	SPS: 17 - 0.691	Análisis de agua	

Coca, 20 de abril de 2017

Sr. HENRY REA.

Dirección: Joya de los Sachas.

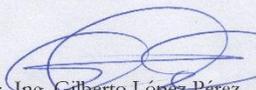
1.- Datos generales:

Recogidas por Sr. Henry Rea
 Fecha hora de toma de muestra 2 017 03 06 15:05.
 Fecha hora ingreso al Laboratorio 2 017 03 06 17:15.
 Fecha del análisis 2 017 03 06 a 2 017 04 10
 Condiciones Ambientales de Análisis.. T. Máx: 27,0°C T. Min: 22,0°C
 Código de LabSu **Identificación de la muestra.**
 a 4849 Muestra de Biol, # T2 Relleno Sanitario

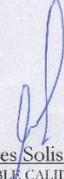
2.- Resultados / Parámetros y métodos / referencias:

Ítem	Parámetros	Unidad	a 4 849	PEE-LABSU	Método / Norma / Referencia
1	Potencial hidrógeno	~	7,12	PEE-LABSU-12	EPA 9040C
2	Materia orgánica	%	51,13	PEE-LABSU-67	GRAVIMETRICO
3	Carbono orgánico Total	%	29,66	PEE-LABSU-66	EPA 9060
4	Nitrógeno total	%	2,56	PEE-LABSU-71	KJELDAHL, EPA 351.2
5	Fósforo	mg/l	36,17	PEE-LABSU-73	Booker Tropical Soil Manual
6	Calcio	mg/Kg	6,01	PEE-LABSU-06/76	Booker Tropical Soil Manual
7	Potasio	mg/Kg	43,01	PEE-LABSU-06/76	Booker Tropical Soil Manual
8	Magnesio	mg/Kg	7,30	PEE-LABSU-06/76	Booker Tropical Soil Manual
9	Sodio	mg/Kg	4,60	PEE-LABSU-06/76	Booker Tropical Soil Manual
10	Potasio total	mg/Kg	1 203.05	PEE-LABSU-33	SM3030 B, 3111 B

3.- Responsables del Informe:

Autorización: 
Ing. Gilberto López Pérez.
 DIRECTOR TÉCNICO




Téc. Andres Solis Plaza.
 RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.
 Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.
 Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE

MC2201-05

Página 1 de 1

Figura 2B. Biodigestor 2

 <p>Laboratorio de Suelo, Aguas y Plantas</p>	<p>VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax:(593)06- 2881105</p>	<p>Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003</p>
	<p>INFORME DE ENSAYO N°: 112 914</p>	
<p>SPS: 17 - 0 691</p>	<p>Análisis de agua</p>	

Coca, 20 de abril de 2017

Sr. HENRY REA.

Dirección: Joya de los Sachas.

1.- Datos generales:

Recogidas porSr. Henry Rea
 Fecha hora de toma de muestra 2 017 03 06 15:10.
 Fecha hora ingreso al Laboratorio 2 017 03 06 17:15.
 Fecha del análisis 2 017 03 06 a 2 017 04 10
 Condiciones Ambientales de Análisis..:T. Máx: 27,0°C T. Mín: 22,0°C
 Código de LabSu Identificación de la muestra.
 a 4850 Muestra de Biol, # T3 Relleno Sanitario

2.- Resultados / Parámetros y métodos / referencias:

Ítem	Parámetros	Unidad	a 4 850	PEE-LABSU	Método / Norma / Referencia
1	Potencial hidrógeno	~	7,09	PEE-LABSU-12	EPA 9040C
2	Materia orgánica	%	69,17	PEE-LABSU-67	GRAVIMETRICO
3	Carbono orgánico Total	%	40,12	PEE-LABSU-66	EPA 9060
4	Nitrógeno total	%	3,46	PEE-LABSU-71	KJELDAHL, EPA 351.2
5	Fósforo	mg/l	64,01	PEE-LABSU-73	Booker Tropical Soil Manual
6	Calcio	mg/Kg	4,01	PEE-LABSU-06/76	Booker Tropical Soil Manual
7	Potasio	mg/Kg	39,1	PEE-LABSU-06/76	Booker Tropical Soil Manual
8	Magnesio	mg/Kg	6,08	PEE-LABSU-06/76	Booker Tropical Soil Manual
9	Sodio	mg/Kg	4,60	PEE-LABSU-06/76	Booker Tropical Soil Manual
10	Potasio total	mg/Kg	1 391,69	PEE-LABSU-33	SM3030 B, 3111 B

3.- Responsables del Informe:

Autorización: Ing. Gilberto López Pérez.
 DIRECTOR TÉCNICO



Téc. Andres Solis Plaza.
 RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.
 Prohibida la reproducción total o parcial; por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.
 Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE

MC2201-05

Página 1 de 1

Figura 3B. Biodigestor 3