



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**“DISEÑO DE UN BIODIGESTOR ANAEROBIO PARA LA
GENERACION DE BIOGAS A PARTIR DE LOS DESECHOS
ORGÁNICOS GENERADOS EN LA HACIENDA ROCON”**

Trabajo de Titulación previa la obtención del título de

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: GLENDA GIVABEL ORTEGA SÁNCHEZ

TUTOR: DR. JOSÉ GERARDO LEÓN CHIMBOLEMA

Riobamba – Ecuador

2016

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: **“DISEÑO DE UN BIODIGESTOR ANAEROBIO PARA LA GENERACION DE BIOGAS A PARTIR DE LOS DESECHOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LA HACIENDA ROCON”** es de responsabilidad de la señorita egresada Glenda Givabel Ortega Sánchez, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Dr. José Gerardo León Chimbolema

**DIRECTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Dr. Edgar Iván Ramos Sevilla

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Glenda Givabel Ortega Sánchez, 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 toda la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación,

Riobamba, 06 de abril del 2016

Glenda Givabel Ortega Sánchez

160041066-4

Yo, Glenda Givabel Ortega Sánchez, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis; y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado, pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

Glenda Givabel Ortega Sánchez

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico primero a mi hijo Andrés Alejandro quien fue mi motivación y el aliento para terminar mi carrera y seguir con mis estudios y mi vida profesional; segundo a mis padres Ángel y Narcisa, por haberme dado todo el apoyo en esta etapa de mi vida; tercero a mi esposo José Alejandro quien fue mi amigo, mi compañero y quien estuvo pendiente de mí en todo momento en el transcurso de mi vida estudiantil, cuarto a mis amigas casi hermanas Valeria, Margarita, Karina, Verónica, Lupita y a mi amigo Ricardo que siempre estuvieron junto a mí en todo momento sea bueno o malo; quinto a mis suegros Antonio y Patricia por todo el apoyo brindado; a mis compañeros de trabajo Xavier, Gustavo, David, Magaly, Marcelo, Iván, Margoth, Paúl, José, Cristian y Miguel que estuvieron compartiendo sus experiencias e impulsándome para que crezca en mi vida profesional; por ultimo a cada una de las personas que se encontraron conmigo en el día a día del estudiante, ganándose un espacio en mi corazón y yo en el de ellos.

Glenda

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme regalado la vida y haberme regalado la bendición más grande mi hijo, en el transcurso de mi vida estudiantil; a mis padres y a toda mi familia por brindarme su apoyo incondicional e distinta manera.

A mi Director de tesis el Dr. Gerardo León por la paciencia que me tuvo y haberme ayudado a llegar mi meta, de igual manera a mi Asesor el Dr. Iván Ramos que de la misma manera me ayudó mucho para terminar este trabajo de investigación, a todos mis maestros que me formaron día a día en mi vida estudiantil; a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por abrirme las puertas y formarme como una buena profesional.

Al Ing. Pedro Hidalgo y Sra., que me permitieron realizar el presente trabajo de titulación en su propiedad, la Hacienda "ROCON".

TABLA DE CONTENIDOS

INDICE DE TABLAS	
INDICE DE TABLAS	xii
INDICE DE GRÁFICOS	xiii
RESUMEN.....	14
SUMMARY	15
INTRODUCCIÓN	16
JUSTIFICACIÓN	16
OBJETIVOS	17
General.....	17
Específicos	17
HIPÓTESIS.....	17
CAPITULO I	
1. MARCO TEÓRICO.....	18
1.1 Procesos de Biodigestión	18
1.2 Digestión Aeróbica.....	18
1.3 Digestión Anaeróbica.....	19
1.3.1 Fermentación anaeróbica	19
1.3.2 Respiración anaerobia	20
1.4 Productos finales de la digestión anaerobia	21
1.4.1 Biogás.....	21
1.4.2 Bioabono	23
1.5 Proceso Biológico	24

1.5.1	Hidrolisis	24
1.5.2	Acidogénesis	24
1.5.3	Acetogénesis	25
1.5.4	Metanogénesis.....	25
1.6	Parámetros ambientales que afectan la fermentación anaeróbica	26
1.6.1	pH.....	26
1.6.2	Temperatura	27
1.6.3	Nutrientes	28
1.6.4	Concentración de la carga	30
1.6.5	Tiempo de retención hidráulico y velocidad de carga orgánica.....	32
1.6.6	Agitación.....	32
1.6.7	Sustancias inhibidoras.....	32
1.7	Microorganismos involucrados en cada fase de digestión anaeróbica.....	33
1.7.1	Bacterias que participan de la hidrolisis.....	33
1.7.2	Bacterias que participan de la acidogénesis	33
1.7.3	Bacterias que participan de la acetogénesis	33
1.7.4	Bacterias que participan de la metanogénesis	34
1.7.5	Especies metanotróficas	34
1.8	Procesos de digestión para tratar los residuos orgánicos	35
1.8.1	Según la forma de alimentación.....	35
1.8.2	Según la temperatura de funcionamiento	37
1.8.3	Según el número de número de Etapas	38
1.9	Tipos de biodigestores.....	38
1.9.1	La planta con cúpula o campana flotante	38
1.9.2	La planta con cúpula o campana fija.....	39
1.9.3	Planta balón o biodigestor tubular.....	40

1.10	Componentes del sistema de biodigestión	41
1.10.1	Sistema de Acarreo o Alimentación.....	41
1.10.2	Cámaras de Carga	41
1.10.3	Manejo del Sustrato.....	41
1.10.4	Sistemas de Transporte	42
1.10.5	Cámara de Digestión	42
1.10.6	Almacenamiento del Efluente	43
1.10.7	Almacenamiento del Biogás	43

CAPITULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO.....	44
2.1.	Lugar de estudio.....	44
2.2.	Línea base ambiental.....	44
2.3.	Topografía del lugar.....	44
2.4.	Determinación de tamaño de muestra	45
2.5.	Determinación de la cantidad de materia prima.....	45
2.5.1.	Determinación del peso de las vacas en producción.....	45
2.5.2.	Determinación de la cantidad de excremento que generan.....	46
2.6.	Caracterización de la materia prima.....	46
2.7.	Parámetros de diseño a nivel de laboratorio.....	47
2.7.1.	Determinación de Biogás	47
2.7.2.	Dimensionado del biodigestor.....	48
2.2.8.	Generación de planos	65
2.2.9.	Impacto ambiental generado en la instalación.....	65
2.2.10.	Análisis de Costos	66

CAPITULO III

3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	67
----	---	----

3.1.	Lugar de estudio.....	67
3.2.	Línea base ambiental.....	67
3.2.1.	Factor Biótico.....	67
3.2.2.	Factor Abiótico.....	69
3.3.	Topografía del lugar.....	71
3.3.1.	Planimetría	71
3.4.	Determinación de tamaño de muestra	71
3.4.1.	Población de Estudio.....	71
3.4.2.	Tamaño de Muestra.....	71
3.4.3.	Selección de muestra.....	72
3.5.	Determinación de la cantidad de materia prima.....	73
3.5.1.	Determinación del peso de las vacas en producción.	73
3.5.2.	Determinación de la cantidad de excremento que generan.	73
3.6.	Caracterización de la materia prima.....	75
3.6.1.	pH.....	76
3.6.2.	DQO	77
3.6.3.	DBO	77
3.6.4.	Nitratos.....	78
3.6.5.	Ceniza.....	79
3.6.6.	Materia Seca.....	80
3.6.7.	Humedad	80
3.7.	Parámetros de diseño a nivel de laboratorio.....	81
3.8.	Dimensionado del biodigestor.....	83
3.8.1.	Determinación del flujo de generación de materia orgánica	83
3.8.2.	Preparación de las corrientes de alimentación	84
3.8.3.	Determinación de la densidad de los purines	86

3.8.4.	Determinación del flujo volumétrico de alimentación.....	88
3.8.5.	Determinación de la producción de gas	88
3.8.6.	Determinación de la producción diaria de biogás	90
3.8.7.	Cálculo de las dimensiones de la campana	90
3.8.8.	Determinación de las medidas del cuerpo del digestor	95
3.8.9.	Determinación de las dimensiones del fondo de mezclado.....	98
3.8.10.	Dimensionamiento de la cámara de alimentación.....	99
3.8.11.	Calculo de la cámara de descarga	101
3.8.12.	Determinación del volumen de la cámara de descarga	103
3.8.13.	Determinación de las dimensiones de la cámara.....	106
3.8.14.	Datos del diseño del biodigestor	107
3.9.	Impacto ambiental generado en la instalación.	108
3.10.	Análisis de Costos	116
CONCLUSIONES		117
RECOMENDACIONES		118
BIBLIOGRAFÍA		119
ANEXOS		121

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Composición y características funcionales del biogás.....	21
Tabla 2-1: Equivalencia del poder calorífico m ³ de biogás frente a otros combustibles.....	22
Tabla 3-1: Rangos óptimos de pH para los diferentes microorganismos intervinientes en la fermentación anaerobia	26
Tabla 4-1: Composición y características funcionales del biogás.....	27
Tabla 5-1: Rendimiento de gas con materiales empleados comúnmente a distinta temperatura...	27
Tabla 6-1: Relación Carbono a Nitrógeno de las materias primas empleadas para generación de biogás.....	28
Tabla 7-1: Análisis de diferentes materiales de residuo.....	30
Tabla 8-1: Contenido de sólidos totales (en seco) en materiales de fermentación.....	31
Tabla 9-1: Microorganismos que participan en el proceso de fermentación.....	34
Tabla 2-1: Métodos de laboratorio.....	47
Tabla 2-2: Densidad de los purines frente al contenido de solidos.....	50
Tabla 1-3: Flora existente en la zona circundante la hacienda “Rocon”.....	67
Tabla 2-3: Flora existente en la zona circundante la hacienda “Rocon”.....	68
Tabla 3-3: Coordenadas de ubicación UTM, WGS 84 17S.....	70
Tabla 4-3: Peso en vivo de las vacas en producción.....	72
Tabla 5-3: Producción de estiércol de las vacas en producción.....	72
Tabla 6-3: Resultado de los análisis del estiércol en laboratorio.....	74
Tabla 7-3: Densidad de los purines frente al contenido de solidos.....	84
Tabla 8-3. Datos utilizados para el cálculo del biodigestor	103
Tabla 9-3. Dimensiones de Biodigestor de campana flotante.....	103
Tabla 10-3. Matriz de identificación de impactos.....	106
Tabla 11-3: Matriz de Leopold.....	109
Tabla 12-3. Materiales a utilizar en la construcción.....	112

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1: Fermentación anaerobia de la glucosa.....	20
Gráfico 2-1: Respiración anaeróbica de la glucosa.....	20
Gráfico 3-1: Fases de la fermentación anaerobia.....	25
Gráfico 4-1: Esquema del proceso de digestión anaerobia por fermentación continua.....	35
Gráfico 5-1: Esquema del proceso de digestión anaerobia por fermentación por lotes.....	36
Gráfico 6-1: Diagrama de un biodigestor de campana flotante.....	39
Gráfico 7-1: Biodigestor de campana fija.....	40
Gráfico 8-1: Biodigestor tubular.....	40
Gráfico 9-1: Diagrama de flujo del sustrato.....	42
Gráfico 1-3: Producción de estiércol de vacas en producción.....	73
Gráfico 2-3: Resultados de pH, analizados en el laboratorio.....	75
Gráfico 3-3: Resultados de DQO, analizados en el laboratorio.....	76
Gráfico 4-3: Resultados de DBO, analizados en el laboratorio.....	76
Gráfico 5-3: Resultados de Nitratos, analizados en el laboratorio.....	77
Gráfico 6-3: Resultados de Ceniza, analizados en el laboratorio.....	78
Gráfico 7-3: Resultados de Materia Seca, analizados en el laboratorio.....	78
Gráfico 8-3: Resultados de Humedad, analizados en el laboratorio.....	79
Gráfico 9-3: Producción de biogás y flama en el biodigestor casero.,.....	80
Gráfico 10-3: Temperatura del biodigestor casero.....	81
Gráfico 11-3: Densidad de los purines frente al contenido de solidos.....	85

RESUMEN

En este trabajo de titulación se diseñó un biodigestor de campana flotante, con la finalidad de obtener biogás a partir de desechos orgánicos generados por el ganado vacuno de la Hacienda Rocon, ubicada en comunidad de San Miguel de Guaructus, en la parroquia La Matriz, cantón Chambo, provincia de Chimborazo. Se realizó un muestreo de estiércol de 15 vacas en producción por 3 días cuya producción promedio de estiércol es de 7,00 Kg por cada una; por ende considerando la población de estudio de 61 vacas en producción tenemos una carga de 427 kg de estiércol diario, para conocer la producción de biogás se construyó un biodigestor casero en el cual se determinó el tiempo de residencia que fue 36 días, la cantidad de biogás generado fue 0,63 L/día, con una temperatura promedio de 16°C; esto se lo realizó con un recipiente de 5L el cual se utilizó sus 3/4 partes es decir 3,75 Kg de dilución de estiércol y agua; mismo que se ubicó bajo cubierta siendo monitoreado durante 45 días, se realizó la prueba de flama, para confirmar la presencia de biogás, se obtuvo un promedio de 0.34 m³/Kg de sólidos alimentados. Una vez obtenidos los datos experimentales, se procedió con los cálculos para el diseño del biodigestor el mismo que tiene una altura de 9,62 m, de los cuales 6,64 m estarán bajo tierra y 2,72 m permanecerán en la superficie; tiene un radio de 1,45m, con una carga de 655,2 kg/día y una producción de biogás de 15,36 m³. Se concluye que una vez obtenido los datos se elaboraron los planos del biodigestor el mismo que minimizará los impactos por desechos orgánicos y se recomienda la implantación del biodigestor en la parte inferior de la sala de ordeño de la hacienda.

Palabras claves:

<BIODIGESTOR>, <BIOGÁS>, <ESTIÉRCOL SECO>, <PURINES>, <TIEMPO DE RETENCIÓN>, <ENERGÍAS ALTERNATIVAS>

SUMMARY

In this paper titling a digester floating bell, in order to obtain biogas from organic waste generated by cattle Hacienda Rocon, located in community of San Miguel de Guaructus, in the parish The Matrix, Canton was designed Chambo, Chimborazo province. manure sampling was performed 15 cows in production for three days with an average manure production is 7.00 kg per each; therefore considering the study population of 61 cows in production have a load of 427 kg daily manure, to meet the production of biogas a home digester in which the residence time was 36 days was determined was built, the amount of biogas generated was 0.63 L / day, with an average temperature of 16 ° c; This is performed as a 5L flask which was used 3/4 its ie 3.75 kg of manure and water dilution; same that was located under cover being monitored for 45 days, the flame test was performed to confirm the presence of biogas, an average of 0.34 m³ / kg fed solids was obtained. After obtaining the experimental data, we proceeded with the design calculations for the same digester having a height of 9.62 m, 6.64 m of which will be underground and 2.72 m remain on the surface; It has a radius of 1.45m, a shits 655.2 kg / day and a biogas production of 15.36 m³. It is concluded that once the data obtained digester plans the same as minimize the impacts of organic waste and the implementation of the digester is recommended at the bottom of the milking parlor of the farm were developed.

INTRODUCCIÓN

El Ecuador es un país altamente agrícola y ganadero, por lo que se producen gran cantidad de residuos orgánicos, que al no tener un tratamiento adecuado no se aprovecha las diferentes utilidades que con un buen manejo estos pueden llegar a ofrecer, donde se beneficiaría al ambiente, al suelo y se tendría una fuente de energía alternativa a partir de los residuos generados.

En la actualidad se vienen desarrollando proyectos de investigación que nos permiten obtener energía alternativa a partir de desechos orgánicos, como la generación de biocombustibles a partir de la caña de azúcar, la cascarilla de arroz, desechos de origen pecuario, entre otros.

La provincia de Chimborazo es considerada una de las principales provincias productoras de ganado lechero; para llevar a cabo este tipo de producción existen muchas limitantes, una de ellas es la necesidad de tener agua caliente para cada uno de los procesos que se desarrollan en la extracción de la leche.

La Hacienda ROCON pertenece a la familia Hidalgo desde hace 75 años, la cual tiene una extensión de 70 hectáreas, perteneció al Sr. Eliecer Hidalgo que este a su vez entrego la misma a sus 5 hijos, los cuales vendieron su parte a su hermano el Sr. Pedro Hidalgo quedando como único dueño, actualmente la hacienda pertenece a sus 2 hijos Mauricio Hidalgo y Pedro Hidalgo, en sus inicios la hacienda se dedicó a la producción de bovinos de carne, leche y a cultivos, actualmente la hacienda se dedica a la producción de bovinos de leche y cultivo de papas, alternando este último, la producción de leche es de 600 litros al día aproximadamente, con 61 vacas en producción, 20 vacas secas, 25 vaconas vientre, 20 vaconas fierro, 30 terneras.

JUSTIFICACIÓN

En la Hacienda ROCON el manejo de los residuos sólidos generados por las vacas en la sala de ordeño, se lo realiza utilizando agua a presión para arrastrar las deyecciones de las vacas; esta actividad aporta a una mejoramiento en las condiciones higiénicas de la sala de ordeño, pero ambientalmente no favorece a la hacienda, ya que esta mezcla se dirige a los potreros aumentando

la reinfestación de parásitos ocasionando parasitosis en las vacas produciéndose así un bajo rendimiento en la producción lechera; además se descarga al suelo sin un tratamiento previo y esto conlleva a la generación de impactos ambientales bien definidos como la eutrofización o enriquecimiento excesivo de nutrientes en el agua y la acidificación de suelos y aguas, produciendo la pérdida de las condiciones naturales del recurso hídrico.

La presente investigación tiene como finalidad dar una solución ambiental a este problema, además de dar una alternativa de energía amigable con el ambiente para el desarrollo de las buenas prácticas ganaderas, utilizando los desechos orgánicos generados en la sala de ordeño para así poder aprovechar estos residuos.

Una alternativa para la mitigación del impacto producido por los purines es el diseño de un biodigestor que transformen el contenido excedente de materia orgánica en biogás y bioabonos, los mismos que pueden ser utilizados en la generación energética y fertilización de zonas agrícolas que tiene la hacienda, además de mejorar las Buenas Prácticas Ganaderas.

OBJETIVOS

General

Realizar el diseño de un biodigestor de campana flotante para la generación de biogás a partir de los desechos orgánicos generados en la hacienda “Rocon”.

Específicos

- Determinar el flujo de desechos orgánicos generados dentro de la hacienda “Rocon” para el correspondiente balance de materia orientado al diseño biodigestor.
- Caracterizar los residuos orgánicos generados en la Hacienda “Rocon”.
- Realizar los cálculos de ingeniería requeridos para el diseño de un biodigestor anaerobio.

HIPÓTESIS

Los procesos de mitigación de los residuos orgánicos por medio de la utilización de un biodigestor disminuyen los impactos producidos por la descarga de los purines procedente de la actividad ganadera de la hacienda “Rocon”.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Procesos de Biodigestión

El reciclaje de los desechos orgánicos es una alternativa para manejarlos adecuadamente y obtener nuevos productos amigables con el ambiente.

Los microorganismos aerobios o anaerobios juegan un papel importante ya que son los que van a degradar o transformar los desechos orgánicos mediante diferentes bioprocesos.

1.2 Digestión Aeróbica

La digestión aeróbica es un proceso que lo realizan los microorganismos como bacterias y protozoos en presencia de oxígeno transformando los desechos en productos inocuos. Este procedimiento en sus inicios tuvo baja aceptación, por el desconocimiento y altos costos del tratamiento.

Una de las ventajas de este proceso se lo puede evidenciar en la simplificación durante las operaciones de disposición de lodos, pues con este método los lodos son sometidos a una aireación prolongada en tanques separados y descubiertos, con lo cual se genera una oxidación directa de la materia orgánica y auto oxidación.

Cuando empieza la digestión aeróbica la población de organismos biológicos se pone en contacto con el sustrato, y su crecimiento depende de su habilidad de reproducirse. Mientras se reproducen el consumo de oxígeno incrementa rápidamente ya que se absorbe y asimila la materia orgánica.

La tasa de crecimiento microbiano disminuye a medida que aumenta la oxidación de los desechos orgánicos por los mismo las fuentes de oxígeno decrecen, teniendo que los microorganismos auto oxidarse mediante el metabolismo endógeno.

Entre las ventajas de esta digestión se destacan, la facilidad de operación del sistema, bajo costo de inversión, ausencia de malos olores, reducción de coliformes fecales. Así como existen ventajas hay también desventajas como altos costos de operación por el consumo de energía, falta de parámetros y criterios para diseñar.

1.3 Digestión Anaeróbica

La digestión anaeróbica consiste en un proceso biológico complejo y degradativo en el que los microorganismos metanogénicos en ausencia de oxígeno transforman la materia orgánica en productos como biogás principalmente, que es una mezcla de metano y dióxido de carbono.

Pues en esta digestión más del 90% de energía se transforma en metano y solo el 10% lo consumen para crecimiento microbiano. Los microorganismos metanogénicos junto a los no metanogénicos forman una cadena alimenticia que tiene estrecha relación con las cadenas enzimáticas de células aeróbicas, así se transforma en biogás completamente todos los residuos.

El proceso anaeróbico se clasifica como fermentación anaeróbica o respiración anaeróbica dependiendo del tipo de aceptores de electrones.

1.3.1 *Fermentación anaeróbica*

La fermentación anaerobia cataliza la materia orgánica en ausencia de aceptores de electrones externos mediante microorganismos anaerobios estrictos o facultativos a través de reacciones de

óxido-reducción en condiciones oscuras. El producto que se obtiene de este proceso es quien acepta los electrones liberados por la descomposición de la materia orgánica, por lo tanto esta se actúa como dador y receptor de electrones.

La producción de metano por fermentación anaerobia se la conoce como metanogénesis acetotrófica, y se la puede aplicar para recuperar biocombustibles y productos bioquímicos.

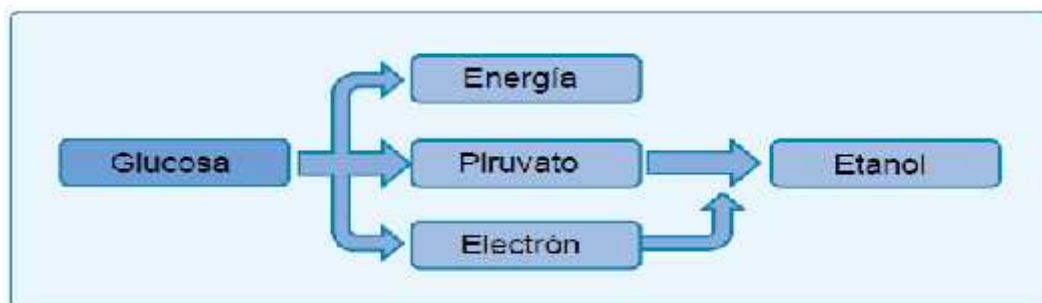


Gráfico 1-1: Fermentación anaerobia de la glucosa
Fuente: Manual del Biogás

1.3.2 *Respiración anaerobia*

La respiración anaerobia es un proceso de óxido-reducción de monosacáridos y otros compuestos en donde el receptor de electrones es una molécula inorgánica, además las bacterias utilizan una cadena transportadora de electrones; hay que tener claro que es un proceso diferente a la fermentación. La fermentación anaerobia requiere de aceptores de electrones externos para poder disponer de electrones liberados en la degradación de materia orgánica, siendo la energía liberada de este proceso mayor que la de la fermentación.

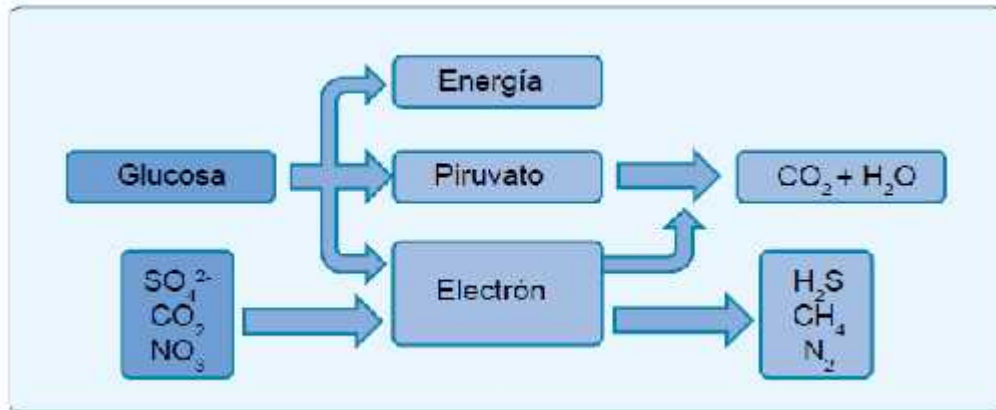


Gráfico 2-1: Respiración anaeróbica de la glucosa

Fuente: Manual del Biogás

Se genera gas metano cuando el CO₂ acepta los electrones liberados por la degradación de la materia orgánica. Las bacterias reductoras de sulfato reducen el sulfato presente en el ambiente anaeróbico, cuya presencia se puede identificar por el olor penetrante y fuerte como a huevo podrido.

1.4 Productos finales de la digestión anaerobia

El bioabono y el biogás son los principales productos del proceso de digestión anaerobia a partir de residuos orgánicos.

1.4.1 *Biogás*

Se conoce como biogás a la mezcla gaseosa formada de metano y dióxido de carbono, pero en sí la composición del gas depende del material digerido y del funcionamiento del sistema anaerobio. La mezcla de gases producto de la descomposición debe purificarse, para ello se hace burbujear el biogás a través de agua y el ácido sulfhídrico a través de una solución de soda cáustica en agua u otro método es pasar también por limaduras de hierro, para mayor información se muestra lo siguiente:

Tabla 1-1: Composición y características funcionales del biogás

Composición	55 - 70% CH ₄ ; 30 - 45%, CO ₂ ; trazas de otros gases
Contenido energético	6.0-6.5 kW/m ³
Equivalente de combustible	0.60 - 0.65 L petróleo/m ³ biogás
Límite de explosión	6 - 12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 - 750°C (con el contenido de CH ₄ mencionado)
Presión crítica	74 - 88 atm
Temperatura crítica	-82.5°C
Densidad normal	1.2 kg/m ³
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 kg/kmol

Fuente: Manual del Biogás

Realizado por: Glenda Ortega S. 2016

La obtención de biogás es una alternativa para sustituir la leña y el gas comercial en la cocina, así como de otras fuentes energéticas. El poder calorífico del biogás se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2-1: Equivalencia del poder calorífico m³ de biogás frente a otros combustibles

Combustible	Equivalencia a m³ de biogás
Madera	1,3 kg
Alcohol	1,1 L
Gasolina	0,75 L
Gasoil	0,65 L
Gas natural	0,76 m ³
Carbón	0,7 kg
Electricidad	2,2 kW/h

Realizado por: Glenda Ortega S.

Fuente: Manual Técnico de construcción y operación de Biodigestores modelo chino.

1.4.1.1 *Usos del biogás*

Existen diversas aplicaciones para el uso de biogás, entre las que se encuentran la producción de calor, electricidad y/o combustible.

- **Producción de calor o vapor:** es el principal uso ya que es más simple de adaptar, por ello se implementa en los lugares donde existe escases de combustible, especialmente en las comunidades rurales donde se genera gran cantidad de materia orgánica (estiércol, desechos agrícolas), que son la materia prima para producir biogás y ser utilizado en los quemadores de cocina.
- **Generación de electricidad:** estos sistemas utilizan el gas producido para transformarlo en calor y electricidad con el fin de calentar el agua de las viviendas en donde se implemente este sistema.
- **Combustible para vehículos:** para poder ser usado en los vehículos el biogás debe tener una calidad similar del gas natural, pues el octanaje que tiene este biogás esta entre 100 y 110, lo que le hace adecuado para uso en motores tanto gasolina como diésel. Pero sin embargo existen varios problemas como la purificación del gas antes de ser comprimido y almacenado, cuya conversión es costosa y por ende hay un déficit de red de abastecimiento.

Otro uso que se le puede dar al biogás es en la iluminación mediante lámparas de gas para ubicarlas en galpones de crianza de pollos, cerdos, etc.

1.4.2 *Bioabono*

Es un segundo producto del proceso anaerobio es el bioabono, que se obtiene al igual que el biogás de materia orgánica, y sus características depende del tipo de tecnologías y materia prima.

1.4.2.1 *Usos del bioabono*

Bioabono se aplica en programas de recuperación de suelos ya que permite la incorporación de nutrientes en el suelo y el aumento de humedad creando un microclima adecuado para las plantas favoreciendo al crecimiento, follaje, reproducción y producción de las especies vegetales.

A los suelos arenosos el bioabono le da una mayor cohesión mejorando la retención de nutrientes y la estructura del suelo, lo que permite controlar la erosión, favoreciendo a la actividad biológica y microbiológica del suelo.

1.5 Proceso Biológico

En la digestión anaerobia se pueden identificar cinco poblaciones bacterianas que llevan un proceso de multietapas y de reacciones paralelas que actúan catalizando tres procesos consecutivos: hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis.

1.5.1 *Hidrolisis*

Durante esta etapa los compuestos orgánicos complejos (lípidos, proteínas e hidratos) son transformados por enzimas en productos solubles y fáciles de degradar (azúcares, aminoácidos, alcoholes), para realizar estas transformaciones las bacterias que actúan son hidrolíticas acidogénesis.

1.5.2 *Acidogénesis*

Las bacterias hidrolíticas acidogénesis degradan los productos que se obtuvieron en la hidrólisis, generando ácidos grasos volátiles, ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono.

1.5.3 *Acetogénesis*

Es una etapa en donde los compuestos intermedios por la acción de bacterias acetilénicas se convierten en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono. Otras bacterias que actúan en este proceso son las metanogénicas, hidrogenófilas y las homoacetogénicas que consumen el hidrógeno y producen ácido acético.

1.5.4 *Metanogénesis*

Es la última etapa del proceso en donde se transforman el hidrógeno y el ácido acético en metano y dióxido de carbono. Se pueden distinguir dos tipos de bacterias, las metanogénicas acetoclásticas encargadas de convertir el acetato en metano, y las metanogénicas hidrogenófilas que transforman el hidrógeno y dióxido de carbono en metano. Del total de metano producido, el 70% se genera por las primeras bacterias y el 30% restante por las segundas bacterias antes mencionadas que están involucradas en la transformación.

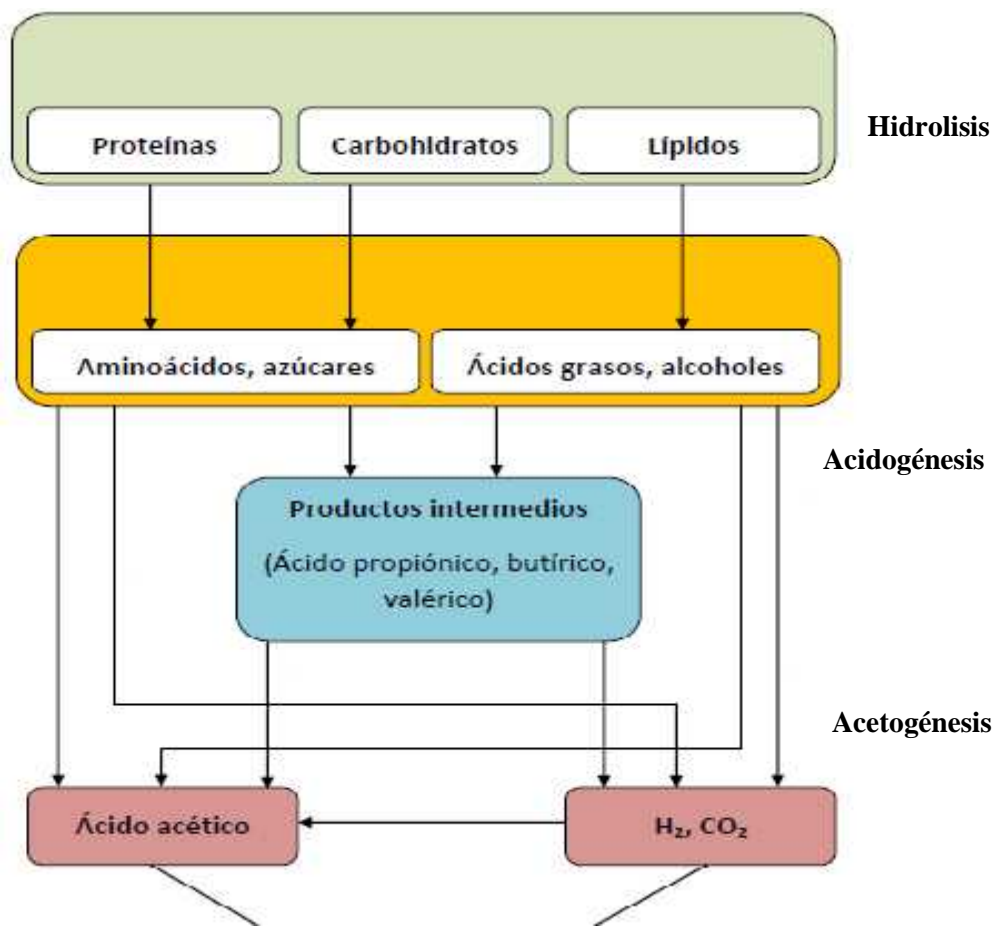


Gráfico 3-1: Fases de la fermentación anaerobia

Fuente: Manual del Biogás

En el proceso de digestión anaerobia existe un proceso conocido como sintrofismo, que quiere decir que el crecimiento de un organismo depende de factores y nutrientes que aporta otro organismo que vive cerca, por lo que esta asociación establece un equilibrio evitando que se altere el sistema. Existe un desequilibrio cuando hay un exceso de materia orgánica que no puede ser digerida por las bacterias, o también por cambios bruscos de temperatura en el sistema.

1.6 Parámetros ambientales que afectan la fermentación anaeróbica

Algunos de los factores que pueden afectar el funcionamiento del proceso de digestión anaerobia se mencionan a continuación:

1.6.1 *pH*

Este parámetro es un importante indicador del correcto funcionamiento del biodigestor, pues en cada fase los microorganismos presentan rangos diferenciados de pH que depende de la actividad. Un reto que se tiene es mantener el pH sobre los 6,6; pues los ácidos orgánicos producidos pueden provocar un descenso rápido del pH y que la producción de metano se disminuya. Para ajustar el pH al ideal se puede añadir productos químicos como el bicarbonato de sodio y potasio.

Tabla 3-1: Rangos óptimos de pH para los diferentes microorganismos intervinientes

en la fermentación anaerobia.

ETAPA	TIPO DE BACTERIAS	RANGO OPTIMO PH
Hidrolisis	Hidrolíticas acidogénicas	7,2-7,4
Acido génesis	Hidrolíticas acidogénicas	7,2-7,4
Acetogénesis	Acetogénicas y homoacetogénicas	7,0-7,2
Metanogénesis	Metanogénicas hidrogenofilas y acetoclasticas	6,5-7,5

Realizado por: Glenda Ortega S.

Fuente: Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaerobios rurales.

1.6.2 *Temperatura*

Uno de los parámetros más importantes en la digestión anaerobia es la temperatura, pues determina la velocidad con la que se degrada la materia orgánica, especialmente durante la hidrólisis y metanogénesis. Los rangos de temperatura en los que puede llevarse la digestión a cabo es el siguiente:

Tabla 4-1: Composición y características funcionales del biogás

Psicrófilo	< 25°C
Mesófilo	Entre 30 – 40 °C
Termófilo	Entre 50 – 60 °C

Realizado por: Glenda Ortega S.

Fuente: Manual del biogás

Cuando aumenta el rango de temperatura incrementa la hidrólisis, velocidad de crecimiento y consecuentemente la velocidad de producción de biogás.

Tabla 5-1: Rendimiento de gas con materiales empleados comúnmente a distinta temperatura.

Materiales	Mesófilo (35°C)	Ambiente (8-25°C)
Estiércol de cerdo	0.42	0.25-0.3

Estiércol de vaca	0.3	0.2-0.25
Estiércol de humano	0.43	0.25-0.3
Paja de arroz	0.4	0.2-0.25
Paja de trigo	0.45	0.2-0.25
Pasto verde	0.44	0.2-0.25

Realizado por: Glenda Ortega S.

Fuente: Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaerobicos rurales.

1.6.3 *Nutrientes*

Los nutrientes principales y necesarios para satisfacer el crecimiento microbiano en el sistema anaerobio son el Carbono, Nitrógeno y Fósforo, además de trazas de minerales como azufre, potasio, calcio, sodio, magnesio y hierro, que son necesarios para la activación de enzimas en la metanogénesis.

Para conseguir un buen rendimiento de gas, se deben combinar proporciones adecuadas de materia orgánica considerando que la relación C:N debe estar entre 15:1 y 45:1, siendo un valor recomendable de 30:1. En la tabla N° 6-1 se muestra la relación Carbono-Nitrógeno de los nutrientes que pueden ser utilizados para el proceso de degradación.

Tabla 6-1: Relación Carbono a Nitrógeno de las materias primas empleadas para la generación de biogás

Materias Primas	Contenido de carbono de las materias primas por peso (%)	Contenido de nitrógeno de las materias primas por peso (%)	Relación carbono a nitrógeno (C/N)	
Paja seca de trigo	46	0.53	87	1
Paja seca de arroz	42	0.64	67	1
Tallo del maíz	40	0.75	53	1
Hojas secas	41	1.00	41	1

Estiércol de aves	41	1.30	32	1
Pasto	14	0.54	27	1
Cacahuets tallos y hojas	11	0.59	19	1
Estiércol fresco de oveja	16	0.55	29	1
Estiércol fresco de vaca	7.3	0.29	25	1
Estiércol fresco de caballo	10	0.42	24	1
Estiércol fresco de cerdo	7.8	0.60	13	1
Excretas frescas humanas	2.5	0.85	2.9:1	

Realizado por: Glenda Ortega S.

Fuente: Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales.

Las materias primas ricas en carbono generan mayor cantidad de gas que las ricas en nitrógeno; además aquellas ricas en nitrógeno realizan una producción más rápida de gas que las ricas en carbono, esto se puede identificar en los primeros 10 días de fermentación ya que materias nitrogenadas generan 34,4%-46% del total producido de gas, y las de carbono solo el 8,8%.

La relación C:N se puede calcular aplicando la formula siguiente:

Ecuación N° 01

$$K = \frac{C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + \dots}{N_1X_1 + N_2X_2 + N_3X_3 + \dots}$$

Ecuación N° 02

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

En donde:

C = Porcentaje de carbono en la materia prima

N = Porcentaje de nitrógeno en la materia prima

X = Peso de la materia Prima

K = C:N de la mezcla de las materias primas

1.6.4 *Concentración de la carga*

Un factor importante a considerar para la producción de gas es la concentración de carga, lo que quiere decir que la mezcla a cargar en el biodigestor no debes ser muy concentrada ni muy diluida; con el valor de sólidos totales se puede calcular la cantidad de agua a agregar, por ello en la siguiente tabla se muestra el contenido de sólidos totales de diversas materias primas.

Tabla 7-1: Análisis de diferentes materiales de residuo.

Materiales	Componente (%)	Solidos totales (TS)	Solidos volátiles (VS)	Grasas	Lignina	Celulosa compleja	Proteína
Estiércol	Frescos	27.4	20.97	3.15	5.8	8.88	3.0
	Totales	100	76.54	11.5	21.49	32.39	10.95
	VS	-	100	15.03	28.08	42.32	14.31
Estiércol Vacuno	Frescos	20.0	15.8	0.65	7.11	6.56	1.81
	Totales	100	76.89	3.23	35.57	32.49	9.05
	VS	-	100	4.20	46.2	42.26	11.77

Estiércol de aves	Frescos	68.9	56.64	2.96	13.66	24.83	6.36
	Totales	100	82.20	2.84	19.82	50.55	9.56
	VS	--	100	3.46	2411	61.5	11.58
Paja de arroz	Frescos	88.82	76.41	8.54	11.28	53.25	4.81
	Totales	100	86.02	9.62	12.7	59.95	5.42
	VS	-	100	11.18	14.76	69.19	6.3
Pasto verde	Frescos	15.9	12.93	1.28	1.56	9.1	0.79
	Totales	100	81.32	8.05	9.8	57.22	4.94
	VS	-	100	9.90	17.05	70.36	6.07

Realizado por: Glenda Ortega S.

Fuente: Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaerobicos rurales.

Tabla 8-1: Contenido de sólidos totales (en seco) en materiales de fermentación

Materiales	Contenido seco (%)	Contenido hídrico (%)
Paja de arroz	83	17
Paja de trigo seca	82	18
Tallo de maíz	80	20
Pasto verde	24	76
Excretas humanas	20	80
Estiércol de cerdo	18	82
Estiércol de vaca	17	83
Orina humana	0.4	99.6
Orina de cerdo	0.4	99.6
Orina de vaca	0.6	99.4

Realizado por: Glenda Ortega S.

Fuente: Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaerobicos rurales.

1.6.5 *Tiempo de retención hidráulico y velocidad de carga orgánica*

El tiempo de retención hidráulica (TRH) se define como el tiempo promedio que una sustancia permanece en el biodigestor, cuando este tiempo aumenta lo hace también la producción de metano.

La velocidad de carga orgánica (VCO) es la cantidad de materia orgánica que se alimenta por volumen de biodigestor en un determinado periodo de tiempo.

1.6.6 *Agitación*

Es importante mantener un buen sistema de agitación que garantice un mezclado óptimo por varias razones:

- Distribución uniforme de calor
- Se evita la formación de espumas o sedimentación
- Favorece la transferencia de gases que pueden ser atrapados en forma de burbujas.

Existen varios métodos de agitación:

- *Recirculación de materia digerida*: esta recircula desde el centro del reactor y al mezclarse con el sustrato nuevo y calentarse se introduce de nuevo al reactor
- *Agitación mecánica*: se lleva a cabo con turbinas de baja velocidad para no destruir los agregados bacterianos.
- *Inyección de biogás*: permite la agitación del contenido.

1.6.7 *Sustancias inhibidoras*

La presencia de tóxicos en el sistema puede inhibir el proceso de digestión, algunos de los inhibidores son el nitrógeno amoniacal, ácido sulfhídrico y ácidos volátiles que no permiten que las bacterias metanogénicas transformen en biogás la materia orgánica.

1.7 Microorganismos involucrados en cada fase de digestión anaeróbica

Las especies de microorganismos que intervienen en los procesos de digestión anaerobia dependen de los materiales que van a degradar, por ello en cada fase se encuentran diferentes grupos de bacterias.

1.7.1 *Bacterias que participan de la hidrolisis*

Entre las bacterias que son responsables de esta primera fase son:

- *Bacteriodes*
- *Lactobacillus*
- *Propioni-bacterium*
- *Sphingomonas*
- *Sporobacterium*
- *Megasphaera*
- *Bifidobacterium*

1.7.2 *Bacterias que participan de la acidogénesis*

Los microorganismos que participan en la acidogénesis también lo hacen en la fase hidrolítica, los géneros que están presentes en todas las fases del proceso de fermentación son *Clostridium*, *Paenibacillus* y *Ruminococcus*. El grupo *Cytophaga-Flavobacterium-Bacteroides* es el más grande durante las dos primeras fases, siendo este grupo el responsable de la degradación de compuestos monoméricos.

1.7.3 *Bacterias que participan de la acetogénesis*

Los microorganismos acetogénicos tienen un periodo de regeneración hasta de 84 horas y solo pueden sobrevivir en simbiosis con aquellos grupos que consumen hidrógeno. Las bacterias reductoras de sulfato con capaces solo de degradar lactato y etanol más no ácidos grasos y compuestos aromáticos.

1.7.4 *Bacterias que participan de la metanogénesis*

En esta última fase los microorganismos encargados de la descomposición de la materia orgánica con las *Arqueas metanogénicas*, caracterizadas por tener presente el co-factor F420 que actúa en presencia de hidrogenasas transportando H₂. Estas bacterias aumentan en esta fase y las principales son *Methanobacterium*, *Methanospirillum hungatii* y *Methanosarcina*.

1.7.5 *Especies metanotróficas*

Son las especies que consumen metano y están presentes en todas las partes pero que no son deseables durante la producción de biogás ya que utilizan el oxígeno para degradar el metano y obtener su energía.

Tabla 9-1: Microorganismos que participan en el proceso de fermentación.

Taxonomía	Especies	Descripción	Metabolismo
Género: Acetobacterium	<i>A. woodii</i> <i>A. paludosum</i>	El género Acetobacter comprende un grupo de bacilos Gram negativos, móviles que realizan una oxidación incompleta de alcoholes, produciendo una acumulación de ácidos orgánicos como	Reducen autotróficamente compuestos poliméricos, oligómeros, monómeros y CO ₂ , utilizando el hidrógeno como fuente de electrones. Estos microorganismos hacen posible la descomposición de los ácidos grasos y compuestos aromáticos.

		productos finales.	
Género: Eubacterium	<i>E. rectale</i> <i>E. siraeum</i> <i>E. plautii</i> <i>E. cylindroides</i> <i>E. brachy</i> <i>E. desmolans</i> <i>E. callandrei</i> <i>E. limosum</i>	El género Eubacterium consiste en un grupo de bacterias anaeróbicas obligadas Gram - positivas.	La mayoría de las Eubacteria sacarolíticas producen butirato como el principal producto de su metabolismo. Muchas especies son capaces de descomponer sustratos complejos a través de mecanismos especiales. Algunas especies se desarrollan autotróficamente, por lo tanto son capaces de cumplir funciones específicas en la descomposición anaeróbica.

Realizado por: Glenda Ortega S.

Fuente: Manual del biogás

1.8 Procesos de digestión para tratar los residuos orgánicos

Existen variados procesos para tratar a los residuos orgánicos, mismos que dependen de las condiciones del diseño del sistema, es así que se pueden clasificar por varios parámetros como se menciona a continuación:

1.8.1 Según la forma de alimentación

1.8.1.1 Fermentación continua

Este tipo de fermentación es un proceso ininterrumpido, ya que cuando ingresa material también sale al mismo tiempo el efluente, siendo la producción de gas uniforme en el tiempo. Este tipo de proceso se aplica en lugares que tienen material residual y espacio para implementar un digestor de gran tamaño. Las características de este tipo de fermentación son la alta dilución de carga y su fácil manejo ya que no se puede requerir mano de obra para la operación.

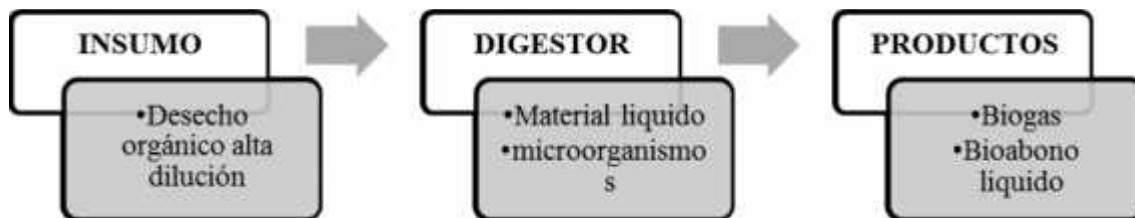


Gráfico 4-1: Esquema del proceso de digestión anaerobia por fermentación continua

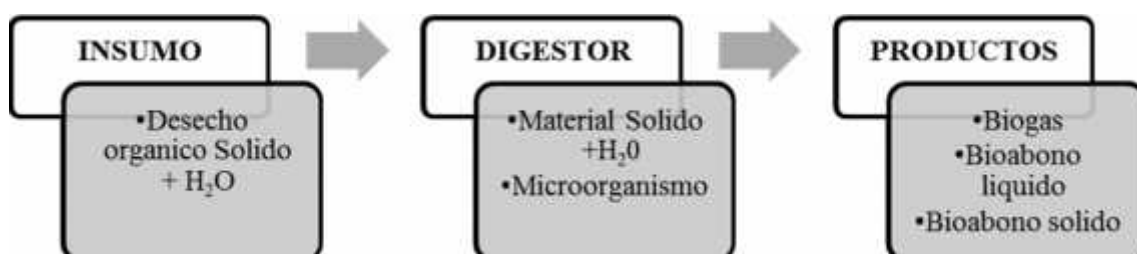
Fuente: Manual del Biogás

1.8.1.2 Fermentación semi-continua

Este tipo de proceso consiste en ir añadiendo la carga a medida que va disminuyendo la que se encuentra en el digestor pues la generación del gas también decrece. Del total del espacio del biodigestor el 80% lo ocupa el sustrato a degradar y el 20% se reserva para las cargas diarias que se realizan. Cuando se desea obtener bioabono su calidad aumenta por la adición continua de materia orgánica que es rica en nutrientes.

1.8.1.3 Fermentación por lotes

La materia orgánica se carga en un solo lote es decir una sola entrada, cuando la cantidad de gas decae o se termina se debe vaciar los digestores por completo y luego que se han limpiado se vuelve



a cargar con materia prima, a este tipo de fermentación se lo conoce como Batch. Las ventajas que tiene este sistema es que no se necesita mano de obra durante la operación sino solo al momento de la carga y descarga; siendo una desventaja la gran cantidad de sólidos que se generan por lo que se debe mecanizarlo.

Gráfico 5-1: Esquema del proceso de digestión anaerobia por fermentación por lotes

Fuente: Manual del Biogás

1.8.2 Según la temperatura de funcionamiento

Es importante conocer la clasificación por la temperatura pues este parámetro determina la formación de gas en un determinado tiempo.

1.8.2.1 Fermentación termófila

Se en una temperatura entre los 51 a 55°C, siendo una digestión rápida con gran rendimiento de gas en un corto tiempo de retención.

1.8.2.2 Fermentación mesofílica

La temperatura varía entre 28-35°C siendo a la descomposición de materia orgánica más lenta que la anterior fermentación.

1.8.2.3 Fermentación a temperatura ambiente

Cuando se trabaja con temperaturas ambiente, esta puede variar dependiendo el lugar y la temperatura atmosférica para lo cual se tiene ventajas como baja inversión y construcción de digestores simples.

1.8.3 *Según el número de número de Etapas*

1.8.3.1 *Fermentación en una sola etapa*

Se caracteriza por instalarse en zonas rurales ya que son estructuras simples, fácil de operar y bajo costo, haciendo una solo carga.

1.8.3.2 *Fermentación en dos o más etapas*

En este tipo de fermentación su característica es el largo periodo de retención, pues se carga la materia, se degrada y se genera gas en una primera etapa: luego el producto de la primera etapa tiene un nuevo proceso de digestión.

1.9 **Tipos de biodigestores**

Se conoce a los biodigestores como plantas de producción de biogás, que consisten en tanques cerrados herméticos en donde la materia orgánica permanece por un determinado tiempo hasta que esta se haya transformado en biogás y bioabono. Se pueden clasificar en:

1.9.1 *La planta con cúpula o campana flotante*

Este tipo de biodigestor se lo conoce como Hindú, pues posee una cámara de digestión de forma cilíndrica elaborada en concreto sobre la cual se encuentra una campana flotante que asciende o desciende dependiendo de la cantidad de gas que se genere, son generalmente enterrados y verticales que asemeja a un pozo. Este digestor tiene una alimentación continua, es decir que se realiza la carga diariamente vaciándolo solo cuando se requiera hacer su limpieza.

Una ventaja es que gracias al gasómetro o campana flotante el gas se almacena a presión constante y variado volumen, además ayuda al rompimiento de la espuma que se puede formar. Pues este modelo presenta una buena eficiencia de producción de biogás, entre 0,5 y 1,0 m³ de volumen de gas por día.

La desventaja que presenta es su alto costo de implementación por ser de concreto y en algunos casos para facilitar la ubicación de la campana se la elabora en metal aumentando los costos.

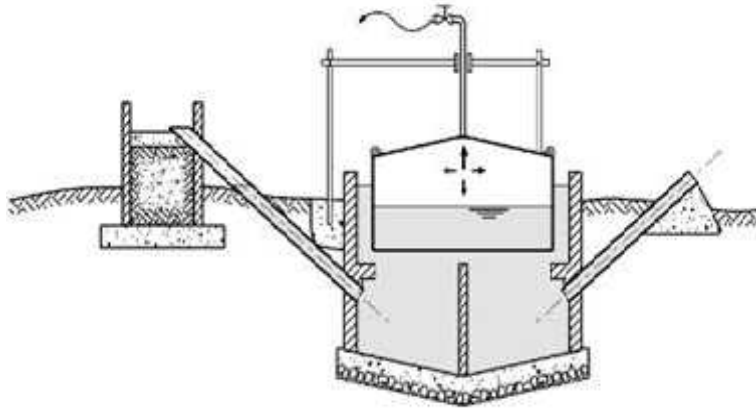


Gráfico 6-1: Diagrama de un biodigestor de campana flotante

Fuente: Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores

1.9.2 *La planta con cúpula o campana fija*

A este biodigestor se lo conoce como modelo Chino, igual que el modelo Hindú es construido en concreto con la diferencia que posee una campana fija en donde se almacena el biogás. Tiene la característica de ser cilíndrico y estar totalmente enterrado. El tipo de alimentación es semicontinua, y durante la producción de biogás este se almacena en el domo, los cambios de presión reducen la eficiencia del digestor. La materia fermentada se desplaza hacia un tanque de compensación, y para reducir la presión interna se utiliza instalaciones a parte en donde se almacena el biogás producido para que sea consumido de forma continua.

A pesar que tienen baja eficiencia en generar biogás son buenos referentes para la obtención de bioabono, pues los tiempos de retención son largos y se genera gran cantidad de abono para ser mezclado con el suelo.

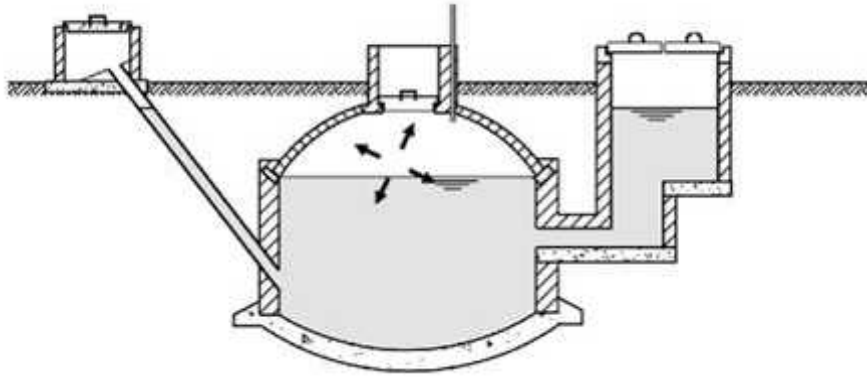


Gráfico 7-1: Biodigestor de campana fija
 Fuente: Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores

1.9.3 *Planta balón o biodigestor tubular*

El digester tubular es un diseño económico pues su fabricación se lo hace en polietileno principalmente, mismo que debe ser completamente sellado, con una entrada y salida que estarán sujetas al plástico. En este modelo se hace una alimentación continua, constituyendo el 75% la materia prima, y el 25% restante está formado por el gas producido.

Las ventajas que presenta este tipo son: fácil instalación con materiales de bajo costo, pueden ser construidos en zonas cálidas como en zonas andinas siendo uno de los más opcionados para las familias de las áreas rurales.

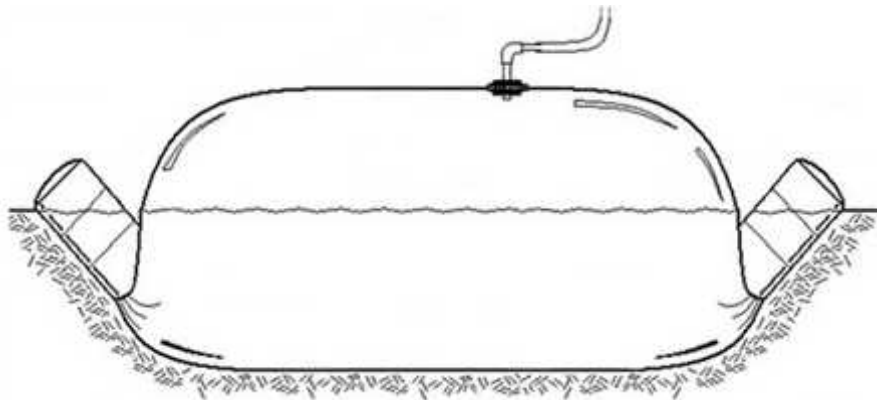


Gráfico 8-1: Biodigestor tubular
 Fuente: Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores

Algunas de las desventajas que presenta el tipo tubular son la corta vida útil sino se le da un buen mantenimiento, se debe proteger de los rayos solares y evitar el ingreso de animales que puedan causar daños al polietileno.

1.10 Componentes del sistema de biodigestión

La selección de los materiales de construcción debe satisfacer las necesidades y cumplir con algunos requerimientos básicos: ser resistente a esfuerzos mecánicos, ataques químicos y térmicos, que haya disponibilidad en la zona y sea compatible con el área ambiental.

1.10.1 *Sistema de Acarreo o Alimentación*

Debe ser un sistema que asegure la provisión de materia prima de forma rápida y segura para evitar que exista descomposición y pérdida de temperatura.

1.10.2 *Cámaras de Carga*

Una vez recolectada la materia orgánica y que haya pasado por el sistema de alimentación el sustrato se almacena en una cámara de carga, mismo que estará provisto de un sistema de alimentación de agua para hacer más fácil las diluciones y la homogenización de la mezcla.

1.10.3 *Manejo del Sustrato*

La recolección y transporte de la materia orgánica están considerados como parte del manejo del sustrato, mismo que se detalla en el siguiente flujograma:



Gráfico 9-1: Diagrama de flujo del sustrato

Fuente: Manual del biogás

El manejo y transporte del sustrato se la hará considerando la naturaleza del mismo, por ello independiente del tipo de sistema que se elija, la alimentación se la debe hacer en el menor tiempo posible.

1.10.4 *Sistemas de Transporte*

Para la instalación del sistema de transporte se debe buscar materiales resistentes, que tengan el tamaño y tipo de acuerdo al caudal de carga que se va a alimentar, además que eviten la pérdida por fricción, se recomienda que no se instale codos de 90°.

1.10.5 *Cámara de Digestión*

Independientemente del sistema que se vaya a utilizar la cámara de digestión debe cumplir con lo siguiente:

- Ser impermeable al agua y a fugas de gas, para evitar contaminación al ambiente, además de evitar la disminución de eficiencia del digestor.
- Ser un aislante térmico para evitar pérdidas de calor, y que afecte a la temperatura de digestión.
- Tener estabilidad estructural, para lo cual se debe tener un estudio de suelo principalmente en donde será construido el digestor.

Como se mencionó los materiales de construcción más empleados son el cemento u hormigón, plástico o polietileno, la elección será dependiendo de la disponibilidad económica que se tenga.

1.10.6 *Almacenamiento del Efluente*

Para el dimensionamiento y diseño de la cámara de descarga se debe considerar el uso que se dará al efluente.

1.10.7 *Almacenamiento del Biogás*

En un digestor anaerobio la producción de biogás es continuo por ello es necesario almacenarlo cuando este no se consume. El volumen de almacenamiento no disminuye del 50% de producción diaria y toda la energía puede ser almacenada en diferentes formas como agua caliente o energía eléctrica.

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Lugar de estudio

La investigación se desarrollará en las instalaciones de la hacienda ganadera “Rocon”.

2.2. Línea base ambiental

Para realizar el levantamiento de la línea base se realizarán diferentes salidas de campo las mismas que consistirán en diferentes fechas, además se utilizó los siguientes materiales:

- Cámara fotográfica
- Cuaderno de notas
- Botas
- Poncho
- Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Chambo del año 2015

2.3. Topografía del lugar

Para determinar la topografía de la Hacienda “ROCON”, se realizará una salida de campo la misma que se utilizó los siguientes materiales:

- GPS Garmin
- Cuaderno de notas
- Botas

- Cámara fotográfica

2.4. Determinación de tamaño de muestra

Para la investigación se utilizó un muestreo al azar simple, el mismo que consiste en la aplicación de la siguiente fórmula:

Ecuación N° 03

$$n = \frac{Z^2 * PQ * N}{NE^2 + Z^2 * PQ}$$

Dónde:

Z= 1,96 (constante del nivel de confianza)

P = variabilidad positiva

Q = variabilidad negativa

N= Población

E= error 2% = 0,02

2.5. Determinación de la cantidad de materia prima.

2.5.1. *Determinación del peso de las vacas en producción.*

Para la determinación del peso de las 15 vacas en producción seleccionadas mediante un muestreo aleatorio, se utilizó una cinta bovinométrica, para obtener un buen resultado en el pesado del animal, este debía estar desestrezado, bien parado en sus cuatro extremidades y se lo realiza con una persona que tenga el conocimiento sobre dicha técnica, la cinta debe estar correctamente ubicada en

la parte inferior por detrás de las extremidades delanteras y en la parte superior, por la cruz que es la parte más alta del animal.

2.5.2. *Determinación de la cantidad de excremento que generan.*

Para la determinar la cantidad de excremento de las 15 vacas de muestra, se realizó un encierro de las mismas por el tiempo de estabulación para el ordeño el mismo que es 4 horas, se determinó únicamente este tiempo de residencia, para la recolección de los datos, cabe señalar que los animales no se encuentran bajo un sistema de estabulación, sino de pastoreo, únicamente se estabulan para el ordeño dos veces por día, una en la mañana con un tiempo de dos horas, y en la tarde de igual manera.

La cantidad total de excremento producido durante la jornada, posterior a la recolección y pesaje de la muestra en el encierro se la proyectó, al número total de animales en producción y se realizará la respectiva comparación.

Los materiales a utilizarse fueron:

- Pala
- Balanza
- Balde de 20 litros.

2.6. Caracterización de la materia prima

Para el análisis del excremento se realizó un muestreo de la producción del purín de la Hacienda “Rocon”, cada 15 días por un periodo de 2 meses dando un total de 4 muestras, las mismas que se analizaron en el laboratorio, los parámetros analizados fueron:

- pH
- Sólidos Totales
- Humedad
- DBO

- DQO
- Nitratos
- Ceniza

Los análisis del Laboratorio se realizarán en el Laboratorio de Análisis Técnicos, de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, los mismos que serán sometidos a los siguientes métodos:

Tabla 2-1: Métodos de laboratorio

DETERMINACIONES	MÉTODO
Ph	4500-B
Demanda Química de Oxígeno	5220-C
Demanda Bioquímica de Oxígeno	5210-B
Nitratos	4500-NO3-C
Ceniza	Gravimétrico
Materia Seca	Gravimétrico
Humedad	Gravimétrico

Realizado por: Glenda Ortega S.

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos, ESPOCH 2014.

2.7. Parámetros de diseño a nivel de laboratorio.

2.7.1. Determinación de Biogás

Para el presente trabajo de titulación se realizó un biodigestor casero, para implementar este dispositivo se utilizaron los siguientes materiales:

- 1 recipiente de 5L
- Equipo de venoclisis
- Microgotero

- Acoples con reducción de ½ pulgadas
- Manguera de oxígeno
- Probeta
- Válvula de apertura de salida de venoclisis
- Permatex
- Silicón
- Fundas de suero
- Funda de basura

Se procedió a perforar la tapa del recipiente de 5L, en el recipiente (se llenará de estiércol) una vez realizada la perforación se colocó el acople de reducción desde el interior hacia el exterior, para una mejor fijación se añadió Permatex, que es un pegamento para este tipo de material, quedando sellado área para evitar fugas, ya fijado el acople de reducción tenemos una entrada mucho más pequeña y a este se le añade dos mangueras del equipo de venoclisis las mismas que están acopladas una a la funda de suero y la otra al microgotero, en la funda de suero tenemos por el lado superior la manguera donde ingresa el biogás y en la parte inferior se encuentra la válvula de salida del biogás.

La cantidad de materia prima que se utilizó en este biodigestor casero fue de 1,85kg de estiércol y 1,85L de agua como se mencionó anteriormente se utilizó una relación 1:1, con respecto al estiércol y al agua añadida; se utilizaron estos valores ya que en el recipiente de 5L solo se utilizó las $\frac{3}{4}$ es decir 3,75 litros que con la suma de la cantidad de estiércol y el agua añadida, se obtiene el valor antes mencionado del recipiente.

2.7.2. Dimensionado del biodigestor

2.7.2.1. Determinación del flujo de generación de materia orgánica

Para la determinación de la producción de materia prima (purines de la zona de ordeño), se recogió y peso las excretas de los animales de la muestra obteniéndose el valor de purines generados por animal.

Para el cálculo de la corriente de alimentación del biodigestor se parte de la siguiente ecuación:

Ecuación N° 04

$$F_p = \frac{W_p * n_a}{T}$$

Dónde:

Fp = Flujo de purines

Wp = Promedio del peso de los animales de la muestra.

N = Población de estudio

T = tiempo de estabulación

2.7.2.2. Preparación de las corrientes de alimentación

Para el adecuado procesamiento de la materia prima dentro del biodigestor la corriente de ingreso debe contener una concentración de solidos lo más próxima a 7%¹, es decir que en el caso de que la materia prima (purines) contengan una concentración superior de solidos se debe realizar un proceso de dilución con la aplicación de agua. Para determinar la cantidad de agua que debe aplicar a las corrientes de entrada de materia prima en función a la concentración de solidos de las mismas se parte de la siguiente ecuación:

Ecuación N° 05

$$F_{H_2O} = \frac{F_p * C_s}{C_{2M}} - F_p$$

¹ (GUEVARA, 1996)

Dónde:

F_{H_2O} = Flujo de agua que se debe aplicar a las corrientes de entrada

F_p = Flujo de purines

C_s = promedio de materia seca

C_{sm} = Concentración de sólidos 7%

La corriente total de alimentación quedaría de la siguiente manera:

Ecuación N° 06

$$F_A = F_p + F_{H_2O}$$

Dónde:

F_a = Corriente de alimentación

F_p = Flujo de purines

F_{H_2O} = Flujo de agua que se debe aplicar a las corrientes de entrada

2.2.7.3. Determinación de la densidad de los purines

En vista de que el contenido de sólidos de los purines será ajustado hasta un valor de 7% para determinar la densidad que presentaran los mismos cuando se ajuste el contenido de sólidos se parte de la siguiente relación entre el contenido de los sólidos y la densidad:

Tabla 2-2: Densidad de los purines frente al contenido de sólidos

Densidad del purín, Kg/L	Contenido de materia seca, %
1.001	2.6
1.0025	3.2
1.005	4.1
1.0075	4.9
1.01	5.7
1.0125	6.4
1.0175	7.6

1.02	8
1.0225	8.4
1.025	8.7
1.0275	8.9
1.03	9

Realizado por: Glenda Ortega S.

Fuente: Mangado, 2005.

Cuya ecuación corresponde a:

Ecuación N° 07

$$\rho_p = 2 \times 10^{-5} C_s^5 - 0.0004 C_s^4 + 0.0042 C_s^3 - 0.0204 C_s^2 + 0.0503 C_s + 0.9515$$

Dónde:

ρ_p = Densidad de los purines

C_s = Materia Seca de cada semana muestreada.

2.2.7.4. Determinación del flujo volumétrico de alimentación

Para determinar el flujo de ingreso volumétrico de materia prima se partió de la siguiente expresión matemática:

Ecuación N° 08

$$Q_A = \frac{F_A}{\rho_p}$$

Dónde:

Q_A = Flujo volumétrico

F_A = Corriente de alimentación

ρ_p = Densidad de los purines

2.2.7.5. Determinación de la producción de gas

Para la determinación de la cantidad de biogás generado se parte del cálculo de la corriente de sólidos que ingresa en el flujo de alimentación:

Ecuación N° 09

$$F_s = \frac{F_A * C_s}{100}$$

Dónde:

F_s = Flujo de sólidos

F_a = Corriente de alimentación

C_s = Materia Seca

Con los datos obtenidos del biodigestor casero, es decir del volúmen obtenido; realizamos una regla de 3 para determinar cuál es la cantidad de producción biogás.

2.2.7.6. Determinación de la producción diaria de biogás

Para la determinación de la producción diaria de gas que generara el biodigestor especificando las condiciones de proceso se parte de la siguiente ecuación:

Ecuación N° 10

$$Q_g = \frac{V_g}{t}$$

Dónde:

Q_g = Producción de biogás

V_g = Volúmen del bogas

$t = 1$ día = 24 horas

2.2.7.7. Determinación de la composición del gas generado

Conociendo que la producción de biogás y el volumen específico del biogás además conociendo que el gas será descargado cada día para las aplicaciones establecidas y por medio de las válvulas de salida colocadas en la parte superior del gasómetro se obtiene que la masa de gas que contendrá la campana es igual a:

Ecuación N° 11

$$w_g = \frac{Q_g * T}{V_{esp_g}}$$

Dónde:

W_g = masa de gas

Q_g = Producción de biogás

$T = 1$ día = 24 horas

V_{esp_g} = Volúmen específico del biogás

2.2.7.8. Cálculo de las dimensiones de la campana

2.2.7.8.1. Determinación de la masa de la campana

La campana tiene la función de mantener la presión de diseño constante del gas en el interior del biodigestor, para ello es necesario que la campana, que debe ser construida de acero, disponga del

peso suficiente para ejercer una fuerza contraria a la fuerza que ejerce la presión del gas y mantener la presión del mismo. Para la determinación de las dimensiones de la campana se parte de un análisis de las fuerzas que actúan y mantienen en virtual reposo la campana. Para lograr mantener la presión de diseño dentro del biodigestor la campana debe tener el peso suficiente para ejercer una fuerza que iguale en magnitud a la fuerza ejercida por la presión del gas y mantener el sistema en equilibrio. Para ello se parte de la siguiente ecuación de diseño:

Ecuación N° 12

$$mg = pA$$

Estableciendo que la geometría deseada en la campana es circular plana y que la campana debe ser por geometría 0,15 m de menor radio que el cuerpo del digestor².

Ecuación N° 13

$$m_c = \sqrt[3]{\frac{4V_c^2}{\left(\frac{1}{e\rho} - \frac{g}{p}\right)^2 * \frac{g}{p\pi}}}$$

Dónde:

Mc = Masa de la campana

Vc = Vg = Volúmen del gas

E = espesor del acero

= densidad (mg/L)

p = presión

g = gravedad

= 3,1416

² (MONTALVO & GUERRERO, 2003)

Considerando que la descarga del gas se producirá a diario el volumen de la campana será igual al volumen de gas generado por día, es decir que la campana deberá tener la capacidad suficiente para contener el gas generado por día, para lo que se partió de la siguiente ecuación:

Ecuación N° 14

$$V_c = V_g$$

2.2.7.8.2. *Determinación del radio de la campana*

Para la determinación del radio de campana donde se recogerá el gas generado por día se parte de la siguiente ecuación que relaciona el radio de la campana con la masa de la misma y la presión del gas:

Ecuación N° 15

$$R_c = \sqrt{\frac{m_c g}{p \pi}}$$

Dónde:

R_c = radio de la campana

M_c = masa de la campana

G = gravedad

P = presión

= 3,1416

2.2.7.8.3. *Determinación de la altura de la campana*

Para determinar la altura que debe presentar la campana del biodigestor se partió de la siguiente expresión matemática:

Ecuación N° 16

$$H_c = \frac{V_c p}{mg}$$

Dónde:

Hc = altura de la campana

Vc = Volúmen de la campana

P = presión

M = masa de la campana

G = gravedad

El valor determinado en base a la ecuación anterior representa la altura total de la campana, en vista de que existe un solapamiento entre una fracción de la altura total del digestor y una fracción de la altura total de la campana, para determinar el altura efectuar de la campana, es decir la altura de la campana que se encontrara libre de mencionado solapamiento y que será la altura de la campana que contenga únicamente el gas generado se parte de la siguiente ecuación:

Ecuación N° 17

$$H_{cl} = \frac{V_c}{\pi r^2}$$

Dónde:

Hcl = Altura campana libre

Vc = Volumen dela campana

R = radio de la campana

= 3,1416

2.2.7.9. Determinación de las medidas del cuerpo del digestor

2.2.7.9.1. Determinación del radio del cuerpo del digestor

El digestor debe tener la misma configuración que la campana, es decir, disponer de una geometría cilíndrica, además debe contener, para determinar el radio del cuerpo del digestor se consideró que para asegurar la hermeticidad debe existir un solapamiento entre el cuerpo del digestor y la campana, dicho requerimiento se logra determinando el radio del cuerpo del digestor ligeramente inferior al diámetro de la campana, por lo que se aplicó la siguiente ecuación:

Ecuación N° 18

$$R_R = R_C + S$$

Dónde:

Rr = Radio biodigestor

Rc = radio campana

S = Solapamiento

Considerando una separación entre la pared del cuerpo del digestor y de la pared de la campana en la superficie de solapamiento igual a 0,10m.

2.2.7.9.2. Determinación del volumen de la cámara de fermentación

Para determinar el volumen de la cámara de fermentación se debe partir de la siguiente expresión matemática:

Ecuación N° 19

$$V_{cf} = t * F_A$$

Dónde:

Vcf = Volúmen cámara de fermentación

= tiempo de residencia *24 horas

Fa= Flujo de alimentación

2.2.7.9.3. *Determinación de la altura de la cámara de fermentación*

Para determinar la altura de la cámara de fermentación, es decir la altura del cuerpo del digestor donde estará contenido el material en fermentación, se partió de la siguiente ecuación:

Ecuación N° 20

$$H_R = \frac{V_{cf}}{\pi R_R^2} - 0,1 * R_R$$

Dónde:

Hr = altura digestor

Vcf = Volúmen cámara de fermentación

Rr = Radio biodigestor

= 3,1416

2.2.7.10. *Determinación de las dimensiones del fondo de mezclado*

2.2.7.10.1. *Determinación del radio del fondo de mezclado*

Para mejorar el proceso de fermentación la cámara de fermentación debe tener un fondo de geometría cónica, y debe tener la misma configuración de la base del cuerpo de fermentación, es decir, el diámetro del cono del fondo de mezclado debe ser igual al radio del cuerpo de digestión o fermentación, obteniéndose:

Ecuación N° 21

$$R_F = R_R$$

2.2.7.10.2. *Determinación de la altura del fondo de mezclado*

Para determinar la altura del fondo del cono de fermentación se partió de la siguiente ecuación matemática.

Ecuación N° 22

$$H_F = 0,3 * R_R$$

Dónde:

Hf= altura fondo de mezclado

Rr = radio biodigestor

2.2.7.11. *Dimensionamiento de la cámara de alimentación*

2.2.7.11.1. Volumen de la cámara de alimentación

Considerando que la carga se realizara una vez por día la cámara de alimentación debe tener la capacidad suficiente para contener todo el purín que se genera por día, es decir:

Ecuación N° 23

$$m_A = F_A * 24h$$

Dónde:

Ma = Masa de alimentación

Fa = Flujo de alimentación

Conociendo la densidad de los purines se determinó que el volumen de la cámara de alimentación debe ser igual a:

Ecuación N° 24

$$V_A = \frac{m_A}{\rho_p}$$

Dónde:

Va = Volumen de la cámara de alimentación

Ma = masa de alimentación

p = densidad de los purines

2.2.7.11.2. Dimensiones de la cámara de alimentación

La cámara de alimentación debe tener un volumen de 0,64 m³ para poder contener la materia de descarga que se genera en un día de actividades de rutina en la hacienda “Rocon”, no obstante se considera un factor de seguridad del 30% para evitar derrames en el caso que se genere más purines

con relación a la generación rutinaria. Por ende el volumen de la cámara de alimentación deberá ser igual a:

Ecuación N° 25

$$V_{Ac} = V_A + \frac{30 * V_A}{100}$$

Dónde:

Vac = Volúmen cámara de alimentación con % de seguridad

Va = Volumen cámara de fermentación

Considerando que para facilidad de operación y limpieza la cámara tenga una forma cubica y que la altura no debe superar 1m las dimensiones de la cámara de alimentación fueron determinadas en base a la siguiente ecuación matemática:

Ecuación N° 26

$$L_A = \sqrt[3]{V_{Ac}}$$

Dónde:

La = longitud de la cámara de alimentación

Vac = Volúmen cámara de alimentación con % de seguridad

2.2.7.12. *Calculo de la cámara de descarga*

Considerando que dentro del balance de materia del biodigestor como principales corrientes de ingreso se tienen la corriente de entrada, cargada desde la cámara de alimentación, la corriente de biogás, descargada desde el gasómetro, y la carga de salida de biol y biosol, destinadas a la cámara de descarga, por ende todo el material que se descarga en forma de biol y biosol debe ser recolectado en la cámara de descarga, la cual debe tener una capacidad igual o superior al flujo

generado de los componentes sólidos y líquidos generados, para ello partimos del balance de materia para un día de operación normal del biodigestor.

Ecuación N° 27

$$F_{A(24h)} = \frac{Q_{g(24h)}}{V_{esp_g}} + F_{B(24h)}$$

Dónde:

Fa(24h) = Flujo de alimentación por 24 horas

Qg = Producción de biogás

Vesp = volumen específico del biogás

Fb = Flujo cámara de descarga

Es decir que la cámara de descarga debe tener la capacidad suficiente para albergar todo el biosol y biol generado en un día de procesamiento de los purines.

2.2.7.13. *Determinación del volumen de la cámara de descarga*

Conociendo que dentro del análisis con el cual se determinó la descarga de gas generado en un día de operación normal se parte de la transformación de los sólidos (principalmente de carácter volátil) en los productos de fermentación por la descomposición anaerobia por parte de los microorganismos, principalmente biogás, por ende realizando un balance de materia específico para los sólidos totales se tiene el porcentaje de sólidos de la corriente de descarga, partiendo de la determinación de la fracción de sólidos presente en la corriente de alimentación:

Ecuación N° 28

$$X_{ST} = \frac{\%_{ST}}{100}$$

Dónde:

X_{st} = fracción de sólidos

%st = Porcentaje de materia sólida

Por lo cual el balance de materia de los sólidos totales se traduce a la siguiente expresión matemática:

Ecuación N° 29

$$X_{STa} * F_A = \frac{Q_g}{V_{esp_g}} + X_{STb} F_B$$

Dónde:

X_{sta} = Fracción de sólidos de alimentación

F_a = flujo de alimentación

Q_g = Producción de biogás

V_{esp} = volumen específico del biogás

X_{stb} = Fracción de sólidos de descarga

F_b = Flujo cámara de descarga

Ecuación N° 30

$$X_{STa} * F_A = X_{STb} F_B - \frac{Q_g}{V_{esp_g}}$$

Se requirió conocer el porcentaje de sólido presente en la corriente de descarga para determinar la densidad de la corriente de biol y biosol, obteniéndose por despeje de la ecuación anterior:

Ecuación N° 31

$$X_{STb} = \frac{X_{STa} * F_A + \frac{Q_g}{V_{exp} \rho}}{F_B}$$

Conociéndose la fracción de sólidos de la corriente de descarga de biosol y biol se determinó la concentración de sólidos y la densidad de la descarga.

Ecuación N° 32

$$X_{STb} = \frac{\%_{STb}}{100}$$

Ecuación N° 33

$$\%_{STb} = X_{STb} * 100$$

Para determinar el volumen del contenedor de descarga se utilizó la siguiente ecuación matemática:

Ecuación N° 34

$$V_D = \frac{F_{B(24h)}}{\rho_p}$$

Dónde:

F_b = flujo de descarga

p = densidad de los purines

Considerando un factor de 30% para evitar derrames por sobreproducción de biol y biosol, el volumen de la cámara de descarga debe ser igual:

Ecuación N° 35

$$V_{Dc} = V_D + \frac{30 * V_D}{100}$$

2.2.7.14. *Determinación de las dimensiones de la cámara*

Considerando que la geometría de la cámara de descarga tenga una geometría cubica las dimensiones de la cámara deben ser:

Ecuación N° 36

$$L_{Ad} = \sqrt[3]{V_{Dc}}$$

Dónde:

Lad = longitud cámara de descarga

Vdc = Volúmen cámara de descarga

2.2.8. *Generación de planos*

Para la generación de los planes se partió de los cálculos obtenidos en el dimensionamiento del biodigestor, para esto se utilizó el programa AUTOCAD.

2.2.9. *Impacto ambiental generado en la instalación.*

Para la evaluación de impactos ambientales generados en la hacienda ROCON, se utilizará la matriz de Leopold, la misma que consta en la identificación de las interacciones o problemas existentes en la hacienda, luego se consideran todos los factores ambientales que pueden llegar a ser afectados , trazando una diagonal en cada cuadrícula las misma que llevan dos valores:

- **Magnitud.-** Se coloca en la parte superior izquierda, tiene un rango de 1 a 10 dependiendo de la intensidad y se califica de menor a mayor anteponiendo el signo + para los impacto positivos y – para los impactos negativos.

- **Importancia.-** Se coloca en la parte inferior derecha, este hace referencia a la relevancia del impacto sobre la calidad del medio; se califica del 1 al 10 en orden creciente de importancia.

2.2.10. Análisis de Costos

Una vez dimensionado el biodigestor, se analizará la lista de materiales que se vaya a utilizar en la construcción del mismo y de acuerdo a esto se procederá a realizar una lista de costos, es decir el presupuesto que conlleve a la implementación del biodigestor; para así entregar de forma definitiva el diseño al propietario de la hacienda ROCON.

CAPITULO III

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Lugar de estudio

La investigación se desarrolla en las instalaciones de la hacienda ganadera “Rocon” ubicada en la comunidad de San Miguel de Guaructus, en la parroquia La Matriz, cantón Chambo, provincia de Chimborazo.

La Hacienda ROCON pertenece a la familia Hidalgo desde hace 75 años, la cual tiene una extensión de 70 hectáreas, perteneció al Sr. Eliecer Hidalgo que este a su vez entrego la misma a sus 5 hijos, los cuales vendieron su parte a su hermano el Sr. Pedro Hidalgo quedando como único dueño, actualmente la hacienda pertenece a sus 2 hijos Mauricio Hidalgo y Pedro Hidalgo, en sus inicios la hacienda se dedicó a la producción de bovinos de carne, leche y a cultivos, actualmente la hacienda se dedica a la producción de bovinos de leche y cultivo de papas, alternando este último, la producción de leche es de 600 litros al día aproximadamente, con 61 vacas en producción, 20 vacas secas, 25 vaconas vientre, 20 vaconas fierro, 30 terneras. (ANEXO N° 01).

3.2. Línea base ambiental

3.2.1. *Factor Biótico*

3.2.1.1. Flora

Durante la investigación se observa que las principales especies de Flora en la Hada son las detalladas a continuación.

Tabla 1-3: Flora existente en la zona circundante la hacienda “Rocon”

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
Apio	<i>Apio graveolens</i>
Arrayan	<i>Grias tessmannii</i>
Capulí	<i>Prunas capulí</i>
Castillejas	<i>Lachemilla orbiculata</i>
Floripondio blanco	<i>Brugmansia aurea</i>
Guanto	<i>Datura atborea</i>
Hierba buena	<i>Mentha sp.</i>
Huaicundo	<i>Tillandsia sp.</i>
Lengua de vaca	<i>Cespedezia spathulata</i>
Licopidios	<i>Huperzia crassa</i>
Llantén	<i>Plantado sp.</i>
Llin llin	<i>Cassia canescens</i>
Manzanillas	<i>Matricaria Chamomilla</i>
Marco	<i>Franseria artemisoides</i>
Moras	<i>Miconia prasina</i>
Nogal	<i>Juglands neotropica</i>
Pata de gallina	<i>Oleone glandulosa</i>
Perejil	<i>Petrocelinum sativum</i>
Pumamaquí	<i>Oreopanax sp.</i>
Retama	<i>Spartium junceum</i>
Romerillo	<i>Calceolaria ericoides</i>
Ruda	<i>Ruta graveolens</i>
Taxo	<i>Pasiflora mixta</i>
Zarcillejo, sapitos	<i>Brachyotum ledifolium</i>
Toronjil	<i>Mellisa officinalis</i>
Kykuyo	<i>Pennisetum clandestinum</i>
Ray Grass	<i>Lolium perenne</i>
Higuerilla	<i>Ricinos communis</i>
Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>
Sigse	<i>Cortaderia nítida</i>

Realizado por: Glenda Ortega S.

Fuente: <http://www.ambiente.gob.ec> (2013)

3.2.1.2. Fauna

De igual forma durante el desarrollo de la investigación se evidencio existe poca diversidad de vida silvestre, siendo muy escasa por tratarse de una zona con alta intervención humana. Sin embargo, se identificó de manera visual la presencia de fauna representativa en el sector.

Tabla 2-3: Flora existente en la zona circundante la hacienda “Rocon”

AVES	
Nombre Común	Nombre Científico
Colibrí Pico espada	<i>Ensifera ensifera</i>
Quilico, cernícalo americano	<i>Falco sparverius</i>
Frigilo plumizo	<i>Phrygilusunicolor</i>
Pato punteado	<i>Anas flavirostris</i>
Torcazas	<i>Columba fascista</i>
MAMÍFEROS	
Nombre común	Nombre científico
Lobo de páramo	<i>Psudalopex culpaeus</i>
Zorrillos	<i>Conepatus chinga</i>
Ratón marsupial	<i>Caenolestes sp.</i>
Raposa	<i>Didelfis albiventris</i>
Chucuri	<i>Mustela frenata</i>
Sapo verde	<i>Gastrotheca riobambae</i>

Realizado por: Glenda Ortega S.

Fuente: <http://www.ambiente.gob.ec> (2013)

3.2.2. Factor Abiótico

3.2.2.1. Hidrología

Tomando como base la división hidrográfica en cuencas y subcuencas realizadas por MAGAP-CLIRSEN y aprobadas en el 2002 por el Comité Interinstitucional, se delimitó las cuencas, subcuencas y microcuencas sobre cartas topográficas digitales, teniendo como referencia los modelos del terreno en zonas de poca definición altimétrica. El área de drenaje de la zona en estudio que pertenece al Cantón CHAMBO, corresponde a la cuenca del río Pastaza, y a las subcuencas de

los ríos Chambo y Palora. En estas áreas se delimitaron 12 microcuencas, siendo 11 que alimentan las aguas del Río Chambo, y una que alimenta las aguas del río Palora.

3.2.2.2. Temperatura

La temperatura del Cantón Chambo tiene una variación de 16.4°C a 13.6°C, en la Hacienda “ROCON” donde se desarrolló la presente investigación promediamos una temperatura de 15°C,

Los meses de junio, julio y agosto son los que presentan el menor valor de temperatura y los valores más altos están en los meses de octubre y noviembre. Las variaciones mensuales de las temperaturas no son muy significativas y por lo tanto su amplitud (diferencia entre los valores máximos y mínimos) es menor a los dos grados centígrados.

El gradiente térmico de la zona es aproximadamente de 1°C por cada 100 metros de elevación.

3.2.2.3. Suelo

Según el PD y OT del GADM de Chambo, en su clasificación de tipo de suelo y de acuerdo a los datos obtenidos por el IGM en la Hacienda “ROCON”, predomina el tipo de suelo Andisol, el mismo que se caracteriza en su mayoría, texturas francas a franco arenosas en la superficie y de franco arcillo arenosas, franco arcillosas hasta arcillosas en profundidad; se caracterizan por tener un contenido alto de materia orgánica, tienen buen drenaje en su mayoría, en su mayor parte son profundos y en algunas ocasiones moderadamente profundos, pH de ácidos a prácticamente neutro, son no salinos a salinos; tienen mediana a alta fertilidad natural.

El cantón Chambo dispone de tres regímenes de temperatura que son: Isofrígido el cual se caracteriza por tener temperaturas menores de 10°C dentro de los 50 y 100 cm de profundidad ubicándose en la parte más alta del cantón. El isomésico caracterizado por tener temperaturas mayores que 10°C pero que no superan los 13°C localizados en zona del bosque húmedo. Finalmente encontramos el régimen isotérmico con temperaturas mayores a 13°C pero inferiores a 22°C. (ANEXO N° 02)

3.3. Topografía del lugar

3.3.1. Planimetría

La Hacienda “ROCON”, tiene un área de 59.39Has, está ubicada a una altura que va desde los 3040 a 3280 msnm; al norte limita con el Sr. Carlos Chávez, al sur con el Sr. Luis Carillo, al este con el Sr. German Andrade, al este con el Dr. Juan Flor; a continuación sus coordenadas: (ANEXO N° 03)

Tabla 3-3: Coordenadas de ubicación
UTM, WGS 84 17S

X	Y
770235	9810550
770291	9810430
770352	9810386
770428	9810384
770485	9810531
770620	9810574
770580	9810791
770519	9810764
770497	981071
770492	9810781
770452	9810785
770467	9810726

Realizado por: Glenda Ortega S.
Fuente: Hacienda Rocon

3.4. Determinación de tamaño de muestra

3.4.1. Población de Estudio

La población de la investigación fue de 61 individuos (vacas en producción), las mismas que son sometidos al estudio. (ANEXO N° 04)

3.4.2. Tamaño de Muestra

Se trabaja con una muestra de 15 individuos (vacas en producción), los mismos que se alimentan con una mezcla forrajera de *Ray grass*, y *Trifolium repens*.

3.4.3. Selección de muestra

Para la investigación se utiliza un muestreo al azar simple, el mismo que consiste en la aplicación de la siguiente fórmula:

Ecuación N° 03

$$n = \frac{Z^2 * PQ * N}{NE^2 + Z^2 * PQ}$$

Dónde:

Z= 1,96 (constante del nivel de confianza)

P = variabilidad positiva

Q = variabilidad negativa

N= Población

E= error 2% = 0,02

$$n = \frac{1,96^2 * (0,6 * 0,4) * 61}{61(0,02)^2 + 1,96^2 * (0,6 * 0,4)}$$

$$n = \frac{56,2410}{0,9463}$$

$$n = \frac{59,4324}{4} = 14,85 = 15 \text{ vacas}$$

Se procedio a seleccionar a las 15 vacas (ANEXO 05)

3.5. Determinación de la cantidad de materia prima

3.5.1. Determinación del peso de las vacas en producción.

Una vez utilizada la cinta bovinométrica, y realiza la obtención del peso de los 15 animales de muestra, se obtuvo los siguientes datos de peso de los animales:

Tabla 4-3: Peso en vivo de las vacas en producción

N°	N° de arete	Peso en vivo del animal (Kg)
1	260	650
2	279	570
3	264	575
4	337	470
5	370	380
6	250	378
7	242	460
8	252	624
9	220	614
10	32	542
11	50	560
12	313	512
13	58	587
14	22	615
15	203	593
PROMEDIO		542

Realizado por: Glenda Ortega S.

Fuente: Hacienda Rocon

3.5.2. Determinación de la cantidad de excremento que generan.

Para determinar la cantidad de excremento que genera la muestra seleccionada, se realizó un pesaje por 3 días en diferentes fechas, las mismas que se escogió de manera aleatoria., una vez realizado el muestreo y el pesaje de la producción de excremento que generan las 15 vacas de muestra se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 5-3: Producción de estiércol de las vacas en producción

VACA	PESO 1 (kg) 03/oct/2015	PESO 2 (kg) 07/oct/2015	PESO 3 (kg) 23/oct/2015	PROMEDIO (kg)
1	6,76	9,36	9,88	8,67
2	7,12	7,81	8,04	7,66

3	7,12	7,81	8,04	7,66
4	6,19	6,38	6,20	6,26
5	5,06	5,13	5,00	5,06
6	4,68	5,14	5,29	5,04
7	5,70	6,25	6,43	6,13
8	7,73	8,48	8,74	8,32
9	7,60	8,35	8,58	8,18
10	6,72	7,37	7,59	7,23
11	6,95	7,61	7,84	7,47
12	3,17	3,47	3,58	3,41
13	7,28	7,99	8,22	7,83
14	7,62	8,36	8,61	8,20
15	7,35	8,06	8,31	7,91
PRODUCCIÓN PROMEDIO				7,00

Realizado por: Glenda Ortega S.

Fuente: Hacienda Rocon

Una vez realizado la medición por tres días, se obtuvo el siguiente valor el mismo que es un valor promedio de 7,00 kg de estiércol, (ANEXO N° 06,07)

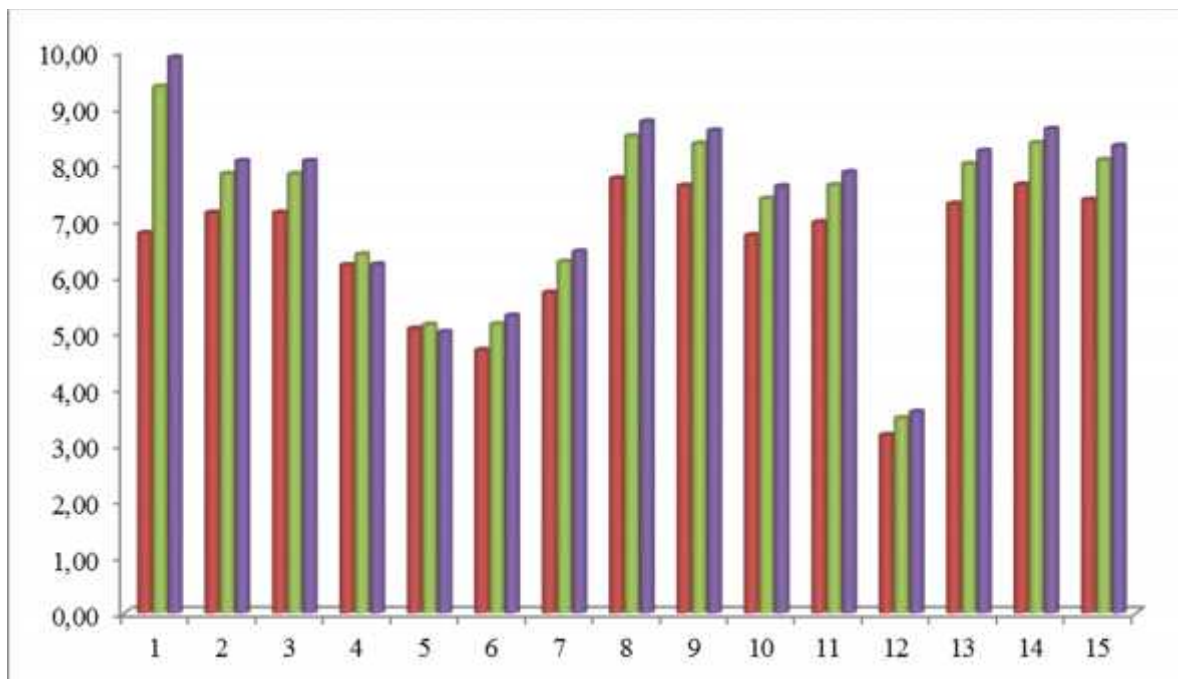


Gráfico 1-3: Producción de estiércol de vacas en producción

Fuente: Hacienda ROCON, Realizado por: Glenda Ortega S.

La cantidad total de excremento producido durante la jornada, posterior a la recolección y pesaje de la muestra en el encierro se la proyectó al número total de animales en producción y se realizará la respectiva comparación.

Ecuación N° 37

$$Ep = 7,00 \frac{kg}{animal} * 61 animales$$

$$Ep = 427 kg$$

Por tal motivo la hacienda ROCON cuenta con 427 kg de estiércol.

3.6. Caracterización de la materia prima

Una vez llevadas las muestras del excremento al Laboratorio de Análisis Técnicos, de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, (ANEXO 08) se realizaron los análisis con las siguientes técnicas de laboratorio y los siguientes resultados:

Tabla 6-3: Resultado de los análisis del estiércol en laboratorio.

RESULTADOS ANÁLISIS DE LABORATORIO						
PARÁMETRO	UNIDAD	SEMANA 2	SEMANA 4	SEMANA 6	SEMANA 8	PROMEDIO
Ph	Und.	7,37	7,21	6,94	7,08	7,15
DQO	g/L	23,31	17,66	15,78	19,60	19,09
DBO	g/L	18,06	15,73	10,24	12,34	14,09
Nitratos	mg/Kg	42,01	45,86	38,70	41,02	41,90
Ceniza	%	2,34	2,69	2,72	2,39	2,54
Materia Seca	%	10,34	10,81	11,47	10,32	10,74
Humedad	%	89,60	89,19	88,53	89,68	89,25

Realizado por: Glenda Ortega S.

Fuente: Hacienda Rocon

3.6.1. pH

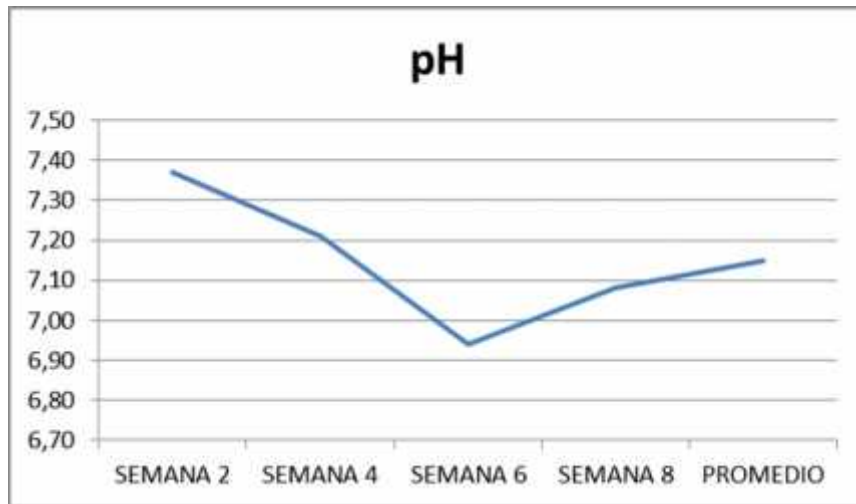


Gráfico 2-3: Resultados de pH, analizados en el laboratorio

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos, ESPOCH 2014, **Realizado por:** Glenda Ortega S.

De acuerdo a los datos obtenidos en el laboratorio se observa que tenemos un promedio de 7,15; por ende su escala es neutra; solo en la semana N° 6 se refleja un decremento no significativo en comparación a las demás semana con un valor de 6,94; esto se debe posiblemente al tipo de alimentación a las que se encuentran sometidas los animales y al consumo voluntario de sal mineral, en cuya composición se encuentran sales de calcio las mismas que regulan el pH, además otro factor que interviene en este parámetro es el agua que consumen los animales de la acequia, ya que esta tiene un gran recorrido desde su origen.

3.6.2. DQO

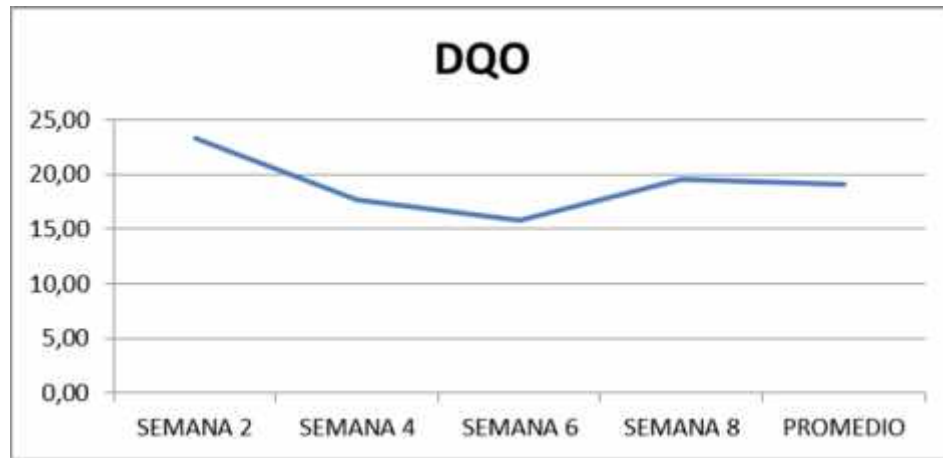


Gráfico 3-3: Resultados de DQO, analizados en el laboratorio

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos, ESPOCH 2014, **Realizado por:** Glenda Ortega S.

En los datos obtenidos mediante los análisis se observa la cantidad de DQO que se encuentra presente en los purines, obteniendo un promedio de 19,09 g/L, se observa una fluctuación entre los resultados para cada una de las muestras; esto se debe a que en el transcurso de estas semanas los animales tuvieron alimentos con alta carga proteica, y posiblemente dentro de este factor tengamos estos resultados.

3.6.3. DBO



Gráfico 4-3: Resultados de DBO, analizados en el laboratorio

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos, ESPOCH 2014, Realizado por: Glenda Ortega S.

En los datos obtenidos mediante los análisis se observa la cantidad de DBO que se encuentra presente en los purines, obteniendo un promedio de 14,09 g/L; las vacas productoras de leche son sometidas a dietas altas en proteína, por lo cual debido a su fisiología estos rumiantes necesitan de altas cargas bacterianas para realiza sus procesos digestivos, por lo cual las deyecciones que produce cada una de ellas saldrán con alto contenido en bacterias.

3.6.4. Nitratos

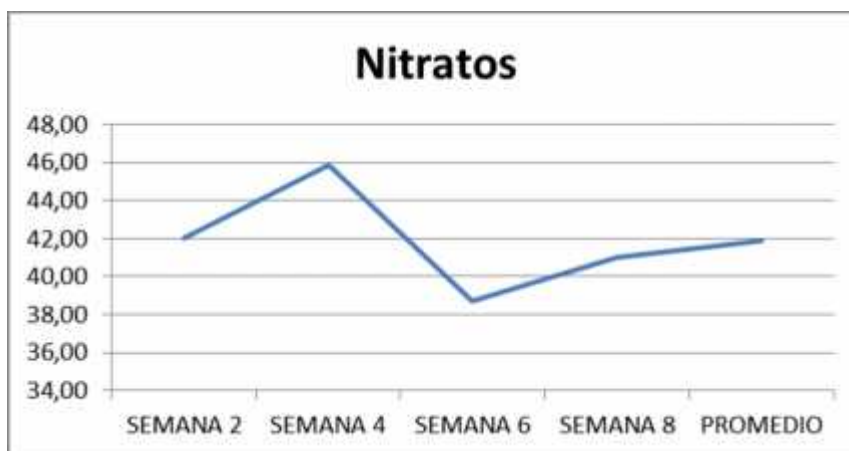


Gráfico 5-3: Resultados de Nitratos, analizados en el laboratorio

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos, ESPOCH 2014, Realizado por: Glenda Ortega S.

La cantidad de Nitratos que contiene la materia prima se refleja con un promedio de 41,90 mg/kg.; como se mencionó anteriormente estos valores se ven influenciados por las dietas a las que se encuentran expuestas los animales, ya que al alimentarse con alto contenido proteico el mismo es absorbido para la producción de leche y los compuestos que no son asimilados en el organismo de la vaca son excretados mediante las deyecciones, uno de los compuestos que no son excretados son los nitratos y estos en el suelo son filtrados contaminando aguas subterráneas, este es un motivo más para la aplicación del biodigestor como un beneficio ambiental.

3.6.5. Ceniza



Gráfico 6-3: Resultados de Ceniza, analizados en el laboratorio

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos, ESPOCH 2014, **Realizado por:** Glenda Ortega S.

La cantidad de Ceniza que contiene la materia prima se refleja con un promedio de 2,54 %, presente en las muestras analizadas en el laboratorio, esto se debe a presencia de materia orgánica en cada una de las muestras, es decir el contenido de materia orgánica que excretan los animales.

3.6.6. *Materia Seca*



Gráfico 7-3: Resultados de Materia Seca, analizados en el laboratorio

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos, ESPOCH 2014, **Realizado por:** Glenda Ortega S.

La cantidad de materia seca que contienen las muestras y por ende la materia prima, la cual se va a utilizar en el diseño del biodigestor, tiene un promedio de 10,74 %; esto nos ayuda en las ecuaciones a continuación para el dimensionado del biodigestor; ya que la producción de materia seca es un factor importante en este diseño; su variación se debe a las condiciones de alimentación del animal, la capacidad de asimilación, la edad, el estado de salud, este parámetro es el más importante de todos los parámetros analizados, ya que este parámetro evaluado nos permitirá conocer la cantidad de materia a descomponer y así la producción de biogás.

3.6.7. *Humedad*

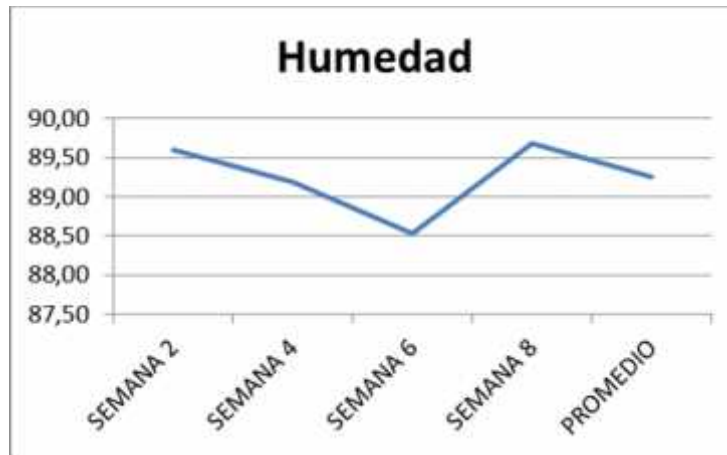


Gráfico 8-3: Resultados de Humedad, analizados en el laboratorio
Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos, ESPOCH 2014, **Realizado por:** Glenda Ortega S.

La cantidad de humedad que contiene la materia seca se refleja con un promedio de 89,25 %; como es un lugar donde los pastos están muy bien hidratados su % es alto; este es un parámetro importante dentro del biodigestor.

3.7. Parámetros de diseño a nivel de laboratorio.

El biodigestor se lo implementa en la hacienda ROCON el día miércoles 27 de enero del 2016 iniciando con el proceso de biodigestión hasta el viernes 11 de marzo del 2016, teniendo una duración de 45 días, el mismo que se mantiene de totalmente hermético; en el desarrollo de la investigación se realizaban diariamente la toma de información, en este caso la lectura de la temperatura, producción de biogás y desde el día 18 hasta el 40 se aplicó el método de la flama, el mismo que indicó la máxima producción de biogás y el tiempo de residencia que este tenía. (ANEXO 09).

En la prueba de flama se observó que en el día 18 se tuvo un color amarillo intenso eso nos indica la presencia de CO₂ en el gas generado en esos días y en el día 27 se observó la llama de color azul, esto nos indica que se está produciendo biogás. (ANEXO 10, 11).

Por la recolección de datos en la producción de biogás, en el día 36 se observa la mayor cantidad de gas generado, siendo este el tiempo de retención considerado para realizar los cálculos en el diseño del biodigestor para la hacienda ROCON.

En el gráfico a continuación se observan 3 días representativos en la presente investigación en el día 18 (color amarillo), se prendió la flama indicando la presencia de gas; el en día 27 (color morado) la flama fue de color azul, indicando la producción de biogás y el día 36 (color verde) es la producción máxima de biogás en el biodigestor casero, siendo este el tiempo de residencia.

Según los datos obtenidos se cuenta con un volúmen total de 28 L producidos en 45 días y un promedio de 0,63 L.

Con estos valores obtenidos y comparando con la tesis del Ing. Carlos Calderón Puente, la misma que se desarrolló en un lugar donde las condiciones son similares a la hacienda ROCON, los valores de la presente investigación no se encuentran muy lejos de sus resultados en producción de biogás y temperatura.

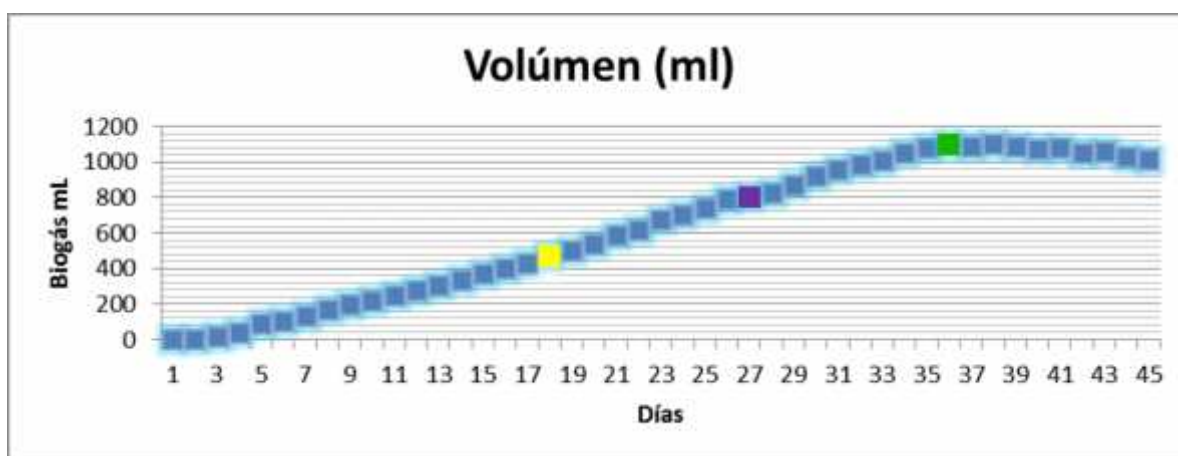


Gráfico 9-3: Producción de biogás y flama en el biodigestor casero.

Fuente: Hacienda ROCON. Realizado por: Glenda Ortega S.

La temperatura del biodigestor experimental se tomó durante los 45 días que duró el tiempo de investigación; en estas lecturas se observó una variable en los datos obtenidos, esto se debe a las diferentes condiciones climáticas que se presentaron en la Hacienda ROCON, las mismas que fueron desde aumentos a descensos de temperatura, además que se tuvo presencia de lluvia, por este tipo de cambios climáticos el biodigestor se lo colocó bajo cubierta, como temperatura promedio tenemos $15,51\text{ }^{\circ}\text{C} = 16^{\circ}\text{C}$, los resultados obtenidos con respecto a la temperatura se los detalla en la siguiente tabla. (ANEXO N° 12)

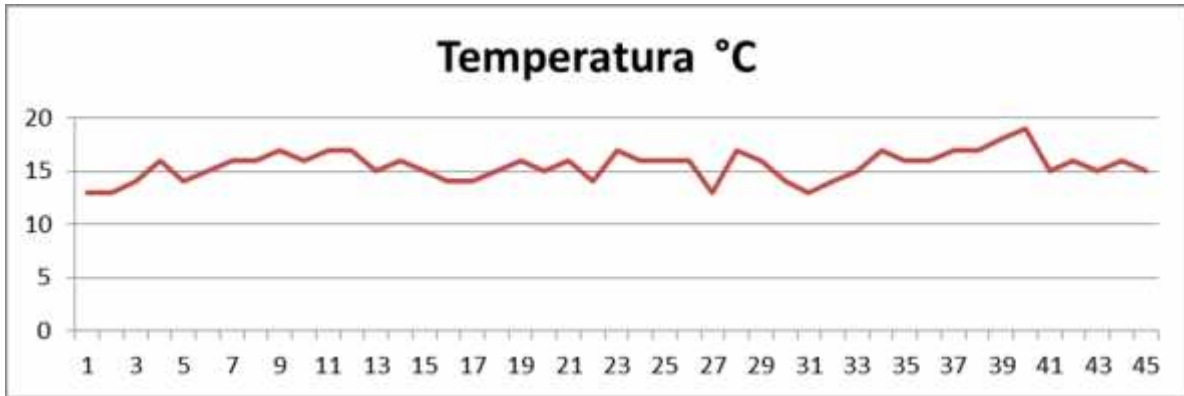


Gráfico 10-3: Temperatura del biodigestor casero

Fuente: Hacienda ROCON. Realizado por: Glenda Ortega S.

3.8. Dimensionado del biodigestor

3.8.1. Determinación del flujo de generación de materia orgánica

Una vez obtenido el valor del purín generado por animal, procedemos a sacar el valor promedio de los 15 animales fue igual a 7.002 Kg/animal, como se muestra en la tabla 5-3.

Para el cálculo de la corriente de alimentación del biodigestor se parte de la siguiente ecuación:

Ecuación N° 04

$$F_p = \frac{w_p * N}{T}$$

Dónde:

F_p = Flujo de purines

W_p = Promedio del peso de los animales de la muestra.

N = Población de estudio

T = tiempo de estabulación

$$F_p = \frac{7.002 \text{ Kg/animal} * 61 \text{ animales}}{4h}$$

$$F_p = 106.78 \text{ kg/h}$$

Es decir que la corriente de ingreso que deba tratar el biodigestor será igual a 106.78 kg/h, no obstante el flujo de producción solo es generado en 4 horas durante el día, lapso de tiempo que dura el ordeño, por lo cual se debe ajustar los datos a un lapso de tiempo igual a un día, para que el flujo que deba tratar el equipo sea constante, para lo cual se obtuvo:

$$F_p = \frac{7.002 \text{ Kg/animal} * 61 \text{ animales}}{24h}$$

$$F_p = 17.8 \text{ kg/h}$$

3.8.2. Preparación de las corrientes de alimentación

Para determinar la cantidad de agua que debe aplicar a las corrientes de entrada de materia prima en función a la concentración de sólidos de las mismas se parte de la siguiente ecuación:

Ecuación N° 05

$$F_{H_2O} = F_p * C_s - F_p$$

Dónde:

F_{H_2O} = Flujo de agua que se debe aplicar a las corrientes de entrada

F_p = Flujo de purines

C_s = promedio de materia seca

Conociendo que como principal componente de la corriente de entrada se tiene los desechos de los animales recolectados en la zona de ordeño (purines), además conociendo que el contenido de

solidos promedio fue igual a 10.735 %, valor obtenido en los análisis realizados a los desechos generados en los establos tenemos:

$$F_{H_2O} = \frac{17.8kg}{h} * 10.735\% - 17.8kg/h$$

$$F_{H_2O} = 9.5kg/h$$

Es decir que a la corriente de carga de purines se debe aplicar 9.5 kg/h de agua (en este sentido se aplica la relación 1kg = 1l) para mejorar las condiciones de la materia prima e incrementar la eficiencia del biodigestor. Además se realiza la comparación con la producción de biogás que se generó en el biodigestor casero, este se lo calcula con el valor obtenido además de la equivalencia de kg de estiércol a solidos totales y este a m³ de biogás. Por lo que la corriente total de materiales que ingresaran al biodigestor (corriente de alimentación) debe ser de:

Ecuación N° 06

$$F_A = F_p + F_{H_2O}$$

Dónde:

F_A = Corriente de alimentación

F_p = Flujo de purines

F_{H₂O} = Flujo de agua que se debe aplicar a las corrientes de entrada

F_{bc} = Producción del biodigestor casero

$$F_A = \frac{17.8kg}{h} + 9.5 \frac{kg}{h}$$

$$F_A = 27.3 kg/h$$

$$F_A = 27.3 \frac{kg}{h} * \frac{24h}{1} dias = 655,2kg/dia$$

De acuerdo a los datos obtenidos del biodigestor casero, tenemos una producción de 0,63L/día de biogás, para saber la cantidad de biogás generado por la cantidad de flujo de alimentación, obtenemos mediante una regla de tres el siguiente valor:

Si en 3,15kh se produjeron 0,63L/día; cuantos L/día se produciría en 655,2kg/día, se obtiene 1100,736 L/día = 45,86 L/h.

3.8.3. Determinación de la densidad de los purines

En vista de que el contenido de solidos de los purines será ajustado hasta un valor de 7% para determinar la densidad que presentaran los mismos cuando se ajuste el contenido de solidos se parte de la siguiente relación entre el contenido de los sólidos y la densidad:

Tabla 7-3: Densidad de los purines frente al contenido de solidos

Densidad del purín, Kg/L	Contenido de materia seca, %
1.001	2.6
1.0025	3.2
1.005	4.1
1.0075	4.9
1.01	5.7
1.0125	6.4
1.0175	7.6
1.02	8
1.0225	8.4
1.025	8.7
1.0275	8.9
1.03	9

Realizado por: Glenda Ortega S.

Fuente: Mangado, 2005.

Graficando la densidad de los purines frente al contenido de solidos se obtiene la siguiente gráfica:

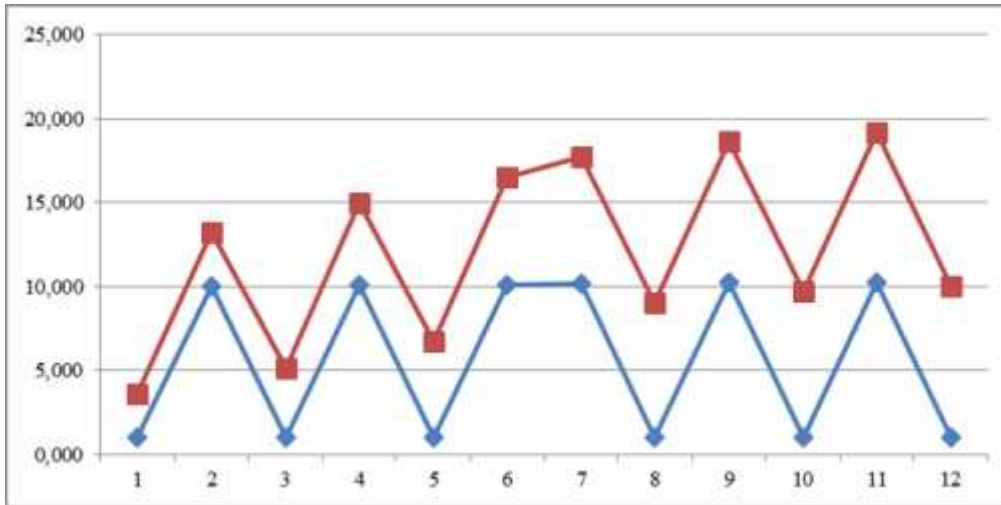


Gráfico 11-3: Densidad de los purines frente al contenido de solidos

Fuente: Mangado, 2005. Realizado por: Glenda Ortega S.

Densidad de los purines frente al contenido de solidos

Cuya ecuación corresponde a:

Ecuación N° 07

$$\rho_p = 2 \times 10^{-5} C_s^5 - 0.0004 C_s^4 + 0.0042 C_s^3 - 0.0204 C_s^2 + 0.0503 C_s + 0.9515$$

Dónde:

ρ_p = Densidad de los purines

C_s = Materia Seca de cada semana muestreada.

$$\rho_p = 2 \times 10^{-5} (10,34)^5 - 0.0004 (10,81)^4 + 0.0042 (11,47)^3 - 0.0204 (10,32)^2 + 0.0503 C_s + 0.9515$$

$$\rho_p = 1,015 \text{ kg/L}$$

Conociendo que el contenido de solidos debe ser igual a 7%, de la ecuación anterior se obtiene que la densidad del purín será 1.015 kg/L

3.8.4. *Determinación del flujo volumétrico de alimentación*

Para determinar el flujo de ingreso volumétrico de materia prima se partió de la siguiente expresión matemática:

Ecuación N° 08

$$Q_A = \frac{F_A}{\rho_p}$$

Dónde:

Q_A = Flujo volumétrico

F_A = Corriente de alimentación

ρ_p = Densidad de los purines

$$Q_A = \frac{27,3kg/h}{1,015kg/L}$$

$$Q_A = 26.90L/h$$

3.8.5. *Determinación de la producción de gas*

Para la determinación de la cantidad de biogás generado se parte del cálculo de la corriente de solidos que ingresa en el flujo de alimentación:

Ecuación N° 09

$$F_s = \frac{F_A * C_s}{100}$$

Dónde:

F_s = Flujo de sólidos

F_a = Corriente de alimentación

C_s = Materia Seca

Conociendo que la alimentación es igual a 27,3 kg/h y que el contenido de sólidos al ingresar la corriente de alimentación es 10,735%, se obtuvo:

$$F_s = \frac{27,6 \text{ kg/h} * 10,735}{100}$$

$$F_s = 2,96 \text{ kg/h}$$

Considerando que el biodigestor casero generó en promedio 0.34 m³/Kg de sólidos alimentados con purines vacunos con una temperatura de operación de 16°C y un tiempo de residencia de 36 días, para la determinación del gas generado se utilizó:

Ecuación N° 10

$$Q_g = F_s * 0.34 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Dónde:

Q_g = Producción de biogás

F_s = lujo de sólidos

$$Q_g = 2,96 \text{ kg/h} * 0.34 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$Q_g = 1,00 \text{ m}^3/\text{h}$$

3.8.6. *Determinación de la producción diaria de biogás*

Para la determinación de la producción diaria de gas que generara el biodigestor especificando las condiciones de proceso se parte de la siguiente ecuación:

Ecuación N° 38

$$Q_g = \frac{V_g}{t}$$

Dónde:

Q_g = Producción de biogás

V_g = Volúmen del biogás

t = 1 día = 24 horas

Despejando el volumen de gas generado se obtuvo:

Ecuación N° 39

$$V_g = Q_g \times t$$

Consideran el tiempo de 24 h y con el valor de caudal previamente determinado se calculó el volumen de gas generado por día:

$$V_g = 1,00m^3/h \times 24h$$

$$V_g = 24,00 m^3$$

3.8.7. *Cálculo de las dimensiones de la campana*

3.8.7.1. *Determinación de la masa de la campana*

La campana tiene la función de mantener la presión de diseño constante del gas en el interior del biodigestor, para ello es necesario que la campana, que debe ser construida de acero, disponga del peso suficiente para ejercer una fuerza contraria a la fuerza que ejerce la presión del gas y mantener la presión del mismo. Para la determinación de las dimensiones de la campana se parte de un análisis de las fuerzas que actúan y mantienen en virtual reposo la campana. Para lograr mantener la presión de diseño dentro del biodigestor la campana debe tener el peso suficiente para ejercer una fuerza que iguale en magnitud a la fuerza ejercida por la presión del gas y mantener el sistema en equilibrio. Para ello se parte de la siguiente ecuación de diseño:

Ecuación N° 12

$$mg = pA$$

Estableciendo que la geometría deseada en la campana es circular plana y que la campana debe ser por geometría 0,15 m de menor radio que el cuerpo del digestor³, es decir 2,86 m, la ecuación se traduce en:

Ecuación N° 13

$$mc = \sqrt[3]{\frac{4V_c^2}{\left(\frac{1}{e\rho} - \frac{g}{p}\right)^2 * \frac{g}{p\pi}}}$$

Dónde:

Mc = Masa de la campana

Vc = Vg = Volúmen del gas

E = espesor del acero

= densidad

p = presión

³ (MONTALVO & GUERRERO, 2003)

$g =$ gravedad

$$= 3,1416$$

Considerando que la descarga del gas se producirá a diario el volumen de la campana será igual al volumen de gas generado por día, es decir que la campana deberá tener la capacidad suficiente para contener el gas generado por día, para lo que se partió de la siguiente ecuación:

Ecuación N° 14

$$V_c = V_g$$

$$V_c = 24,00m^3$$

El material del cual debe estar construida la campana del biodigestor debe ser de acero, de una densidad de 7850 kg/m^3 , además conociendo que el volumen de gas que debe albergar la campana con un periodo de descarga diario es $7,02 \text{ m}^3$ y que la presión a la cual se debe mantener el gas es $3432,23 \text{ Pa}$ se determinó la expresión siguiente expresión matemática que relaciona la masa de la campana con el espesor del material de la cual debe ser construida:

$$m_c = \sqrt[3]{\frac{4(24,00m^3)^2}{\left(\frac{1}{e * 7850 \text{ kg/m}^3} - \frac{9,8m/s^2}{3432,23 \text{ Pa}}\right)^2 * \frac{9,8m/s^2}{3432,23 \text{ Pa} * 3,1416}}}$$

Considerando que el espesor del acero con que será construida la campana del biodigestor debe ser igual a 1 cm y se obtiene:

$$m_c = \sqrt[3]{\frac{4(24,00m^3)^2}{\left(\frac{1}{0,01m * 7850 \text{ kg/m}^3} - \frac{9,8m/s^2}{3432,23 \text{ Pa}}\right)^2 * \frac{9,8m/s^2}{3432,23 \text{ Pa} * 3,1416}}}$$

Del reemplazo de las variables conocidas se obtiene que el peso de la campana del biodigestor debe ser de:

$$m_c = 2560,2kg$$

3.8.7.2. Determinación del radio de la campana

Para la determinación del radio de campana donde se recogerá el gas generado por día se parte de la siguiente ecuación que relaciona el radio de la campana con la masa de la misma y la presión del gas:

Ecuación N° 15

$$R_c = \sqrt{\frac{m_c g}{p \pi}}$$

Dónde:

R_c = radio de la campana

M_c = masa de la campana

G = gravedad

P = presión

= 3,1416

Reemplazando los valores conocidos de la masa de la campana y de presión a la cual debe encontrarse el gas se obtuvo:

$$R_c = \sqrt{\frac{2560,2kg * 9,8m/s^2}{3432,23Pa * 3,1416}}$$

$$R_c = 1,52m$$

3.8.7.3. Determinación de la altura de la campana

Para determinar la altura que debe presentar la campana del biodigestor se partió de la siguiente expresión matemática:

Ecuación N° 16

$$H_c = \frac{V_c p}{mg}$$

Dónde:

H_c = altura de la campana

V_c = Volúmen de la campana

P = presión

M = masa de la campana

G = gravedad

Conociendo el volumen de la campana y la masa de la misma para lograr mantener la presión del gas deseada se determinó que la altura de la campana debe ser igual a:

$$H_c = \frac{24,00m^3 * 3432,23Pa}{2560,2kg * 9,8m/s^2}$$

$$H_c = 3,28m$$

El valor determinado en base a la ecuación anterior representa la altura total de la campana, en vista a que existe un solapamiento entre una fracción de la altura total del digestor y una fracción de la altura total de la campana, para determinar el altura efectuar de la campana, es decir el altura de la campana que se encontrara libre de mencionado solapamiento y que será el altura de la campana que contenga únicamente el gas generado se parte de la siguiente ecuación:

Ecuación N° 17

$$H_{CL} = \frac{V_c}{\pi R^2}$$

Dónde:

H_{cl} = Altura campana libre

V_c = Volumen dela campana

R = radio de la campana

$$= 3,1416$$

$$H_{CL} = \frac{24,00m^3}{\pi(1,52m)^2}$$

$$H_{CL} = 3,30m$$

Ecuación N° 40

$$H_{CL} - H_C = \text{Solapadas}$$

$$3,30m - 3,28m = \text{Solapadas}$$

$$0,02 m = \text{Solapadas}$$

Es decir que cuando el biodigestor contenga la máxima cantidad de biogás generado (15,36m³) la altura que alcanzara la campana debida únicamente al gas contenido es igual a 2,68m, los 0,01m (H_{cl} - H_C) restantes de la altura total de la campana se encontraran solapadas con el digestor para asegurar la hermeticidad del biodigestor.

3.8.8. *Determinación de las medidas del cuerpo del digestor*

3.8.8.1. Determinación del radio del cuerpo del digestor

El digestor debe tener la misma configuración que la campana, es decir, disponer de una geometría cilíndrica, además debe contener, para determinar el radio del cuerpo del digestor se consideró que para asegurar la hermeticidad debe existir un solapamiento entre el cuerpo del digestor y la campana, dicho requerimiento se logra determinando el radio del cuerpo del digestor ligeramente inferior al diámetro de la campana, por lo que se aplicó la siguiente ecuación:

Ecuación N° 18

$$R_R = R_C + S$$

Dónde:

R_r = Radio biodigestor

R_c = radio campana

S = Solapamiento

Considerando una separación entre la pared del cuerpo del digestor y de la pared de la campana en la superficie de solapamiento igual a 0,10 m se obtiene que el radio del cuerpo del digestor debe ser igual a:

$$R_R = R_C + S$$

$$R_R = 1,52m + 0,02m$$

$$R_R = 1,54 m$$

3.8.8.2. Determinación del volumen de la cámara de fermentación

Para determinar el volumen de la cámara de fermentación se debe partir de la siguiente expresión matemática:

Ecuación N° 19

$$V_{cf} = \tau_{bc} * F_A(\text{Combinado})$$

Dónde:

V_{cf} = Volúmen cámara de fermentación

τ_{bc} = tiempo de residencia del biogestor casero *24 horas

$F_A(\text{combinado})$ = Flujo de alimentación combinado con el flujo del biodigestor casero.

Habiendo calculado previamente las restantes variables se determinó que el volumen de la cámara de fermentación:

$$V_{cf} = 864h * 45,86L/h$$

$$V_{cf} = 39623,04L = 39,62m^3$$

3.8.8.3. Determinación de la altura de la cámara de fermentación

Para determinar la altura de la cámara de fermentación, es decir la altura del cuerpo del digestor donde estará contenido el material en fermentación, se partió de la siguiente ecuación:

Ecuación N° 20

$$H_R = \frac{V_{cf}}{\pi R_R^2} - 0,2 * R_R$$

Dónde:

H_r = altura digestor

V_{cf} = Volúmen cámara de fermentación

R_r = Radio biodigestor

$$= 3,1416$$

Reemplazando los valores calculados previamente se obtiene que la cámara de fermentación (excluyendo el fondo de mezclado) debe tener una altura igual a:

$$H_R = \frac{39,62m^3}{\pi * (1,54m)^2} - 0,2 * 1,54m$$

$$H_R = 7,88m$$

3.8.9. Determinación de las dimensiones del fondo de mezclado

3.8.9.1. Determinación del radio del fondo de mezclado

Para mejorar el proceso de fermentación la cámara de fermentación debe tener un fondo de geometría cónica, y debe tener la misma configuración de la base del cuerpo de fermentación, es decir, el diámetro del cono del fondo de mezclado debe ser igual al radio del cuerpo de digestión o fermentación, obteniéndose:

Ecuación N° 21

$$R_F = R_R$$

$$R_F = 1,54m$$

3.8.9.2. Determinación de la altura del fondo de mezclado

Para determinar la altura del fondo del cono de fermentación se partió de la siguiente ecuación matemática.

Ecuación N° 22

$$H_F = 0,3 * R_R$$

Dónde:

Hf= altura fondo de mezclado

Rr = radio biodigestor

$$H_f = 0,3 * 1,54m$$

$$H_f = 0,462m$$

3.8.10. Dimensionamiento de la cámara de alimentación

3.8.10.1. Volumen de la cámara de alimentación

Considerando que la carga se realizara una vez por día la cámara de alimentación debe tener la capacidad suficiente para contener todo el purín que se genera por día, es decir:

Ecuación N° 23

$$m_A = F_A * 24h$$

Dónde:

Ma = Masa de alimentación

Fa = Flujo de alimentación

$$m_A = 27,3 \frac{kg}{h} * 24h$$

$$m_A = 655,2 Kg$$

Conociendo la densidad de los purines se determinó que el volumen de la cámara de alimentación debe ser igual a:

Ecuación N° 24

$$V_A = \frac{m_A}{\rho_p}$$

Dónde:

V_a = Volumen de la cámara de alimentación

M_a = masa de alimentación

ρ = densidad de los purines

$$V_A = \frac{655.2Kg}{1,015kg/L}$$

$$V_A = 645,51L = 0,64m^3$$

3.8.10.2. Dimensiones de la cámara de alimentación

La cámara de alimentación debe tener un volumen de 0,64 m³ para poder contener la materia de descarga que se genera en un día de actividades de rutina en la hacienda ganadera “Rocon”, no obstante se considera un factor de seguridad del 30% para evitar derrames en el caso que se genere más purines con relación a la generación rutinaria. Por ende el volumen de la cámara de alimentación deberá ser igual a:

Ecuación N° 25

$$V_{Ac} = V_A + \frac{30 * V_A}{100}$$

Dónde:

V_{ac} = Volúmen cámara de alimentación con % de seguridad

V_a = Volumen cámara de fermentación

$$V_{Ac} = 0,64m^3 + \frac{30 * 0,64m^3}{100}$$

$$V_{Ac} = 0,832 m^3$$

Considerando que para facilidad de operación y limpieza la cámara tenga una forma cubica y que la altura no debe superar 1 metro las dimensiones de la cámara de alimentación fueron determinadas en base a la siguiente ecuación matemática:

Ecuación N° 26

$$L_A = \sqrt[3]{V_{Ac}}$$

Dónde:

La = longitud de la cámara de alimentación

Vac = Volúmen cámara de alimentación con % de seguridad

$$L_A = \sqrt[3]{0,832m^3}$$

$$L_A = 0,94m$$

Es decir que las dimensiones de la cámara de alimentación serán de 0,94m por cada lado, formando un cubo.

3.8.11. Calculo de la cámara de descarga

Considerando que dentro del balance de materia del biodigestor como principales corrientes de ingreso se tienen la corriente de entrada, cargada desde la cámara de alimentación, la corriente de biogás, descargada desde el gasómetro, y la carga de salida de biol y biosol, destinadas a la cámara de descarga, por ende todo el material que se descarga en forma de biol y biosol debe ser

recolectado en la cámara de descarga, la cual debe tener una capacidad igual o superior al flujo generado de los componentes sólidos y líquidos generados, para ello partimos del balance de materia para un día de operación normal del biodigestor.

Ecuación N° 27

$$F_{A(24h)} = \frac{Q_g(24h)}{V_{esp_g}} + F_{B(24h)}$$

Dónde:

$F_{A(24h)}$ = Flujo de alimentación por 24 horas

Q_g = Producción de biogás

V_{esp} = volumen específico del biogás

F_b = Flujo cámara de descarga

Ecuación N° 41

$$F_{B(24h)} = F_{A(24h)} - \frac{Q_g(24h)}{V_{esp_g}}$$

$$F_{B(24h)} = \left(27.3 \frac{kg}{h} \times 24h \right) - \frac{1,00m^3/h \times 24h}{1.08m^3/kg}$$

$$F_{B(24h)} = 632,98 \frac{kg}{dia}$$

$$F_{B(24h)} = 26,37 \frac{kg}{h}$$

Es decir que la cámara de descarga debe tener la capacidad suficiente para albergar todo el biosol y biol generado en un día de procesamiento de los purines.

3.8.12. Determinación del volumen de la cámara de descarga

Conociendo que dentro del análisis con el cual se determinó la descarga de gas generado en un día de operación normal se parte de la transformación de los sólidos (principalmente de carácter volátil) en los productos de fermentación por la descomposición anaerobia pro parte de los microorganismos, principalmente biogás, por ende realizando un balance de materia específico para los sólidos totales se tiene el porcentaje de solidos de la corriente de descarga, partiendo de la determinación de la fracción de solidos presente en la corriente de alimentación:

Ecuación N° 28

$$X_{ST} = \frac{\%_{ST}}{100}$$

Dónde:

Xst = fracción de sólidos

%st = Porcentaje de materia sólida

$$X_{STa} = \frac{10,735}{100}$$

$$X_{STa} = 0,107$$

Por lo cual el balance de materia de los sólidos totales se traduce a la siguiente expresión matemática:

Ecuación N° 29

$$X_{STa} * F_A = \frac{Q_g}{V_{esp_g}} + X_{STb} F_B$$

Dónde:

Xsta = Fracción de sólidos de alimentación

Fa = flujo de alimentación

Qg = Producción de biogás

Vesp = volumen específico del biogás

Xstb = Fracción de sólidos de descarga

Fb = Flujo cámara de descarga

Ecuación N° 30

$$X_{STa} * F_A = X_{STb} F_B - \frac{Q_g}{V_{esp g}}$$

Se requirió conocer el porcentaje de solido presente en la corriente de descarga para determinar la densidad de la corriente de biol y biosol, obteniéndose por despeje de la ecuación anterior:

Ecuación N° 31

$$X_{STb} = \frac{X_{STa} * F_A + \frac{Q_g}{V_{esp g}}}{F_B}$$

$$X_{STb} = \frac{\left(0,107 * 27,3 \frac{kg}{h}\right) + \frac{1,00m^3/h}{1,08m^3/kg}}{26,37 \frac{kg}{día}}$$

$$X_{STb} = 0,15$$

Conociéndose la fracción de solidos de la corriente de descarga de biosol y biol se determinó la concentración de sólidos y la densidad de la descarga.

Ecuación N° 32

$$X_{STb} = \frac{\%_{STb}}{100}$$

Ecuación N° 33

$$\%_{STb} = X_{STb} * 100$$

$$\%_{STb} = 0,15 * 100$$

$$\%_{STb} = 15\%$$

Partiendo de la ecuación previamente determinada donde se relaciona la densidad de los productos frente al contenido de sólidos se obtuvo.

Ecuación N° 07

$$\rho_p = 2 * 10^{-5} C_s^5 - 0.0004 C_s^4 + 0.0042 C_s^3 - 0.0204 C_s^2 + 0.0503 C_s + 0.9515$$

$$\rho_p = 1,020 \text{ kg/L}$$

Para determinar el volumen del contenedor de descarga se utilizó la siguiente ecuación matemática:

Ecuación N° 34

$$V_D = \frac{F_B(24h)}{\rho_p}$$

Dónde:

Fb = flujo de descarga

p = densidad de los purines

$$V_D = \frac{632,98 \text{ kg}}{1,020 \text{ Kg/L}}$$

$$V_D = 620,571 \text{ L}$$

$$V_D = 0,62 \text{ m}^3$$

Considerando un factor de 30% para evitar derrames por sobreproducción de biol y biosol, el volumen de la cámara de descarga debe ser igual:

Ecuación N° 35

$$V_{Dc} = V_D + \frac{30 * V_D}{100}$$

$$V_{Dc} = 0,62m^3 + \frac{30 * 0,62m^3}{100}$$

$$V_{Dc} = 0,81m^3$$

3.8.13. Determinación de las dimensiones de la cámara

Considerando que la geometría de la cámara de descarga tenga una geometría cubica las dimensiones de la cámara deben ser:

Ecuación N° 36

$$L_{Ad} = \sqrt[3]{V_{Dc}}$$

Dónde:

Lad = longitud cámara de descarga

Vdc = Volúmen cámara de descarga

$$L_{Ad} = \sqrt[3]{0,81m^3}$$

$$L_{Ad} = 0,93m$$

3.8.14. Datos del diseño del biodigestor

Tabla 8-3. Datos utilizados para el cálculo del biodigestor

DATOS		
ITEM	VALOR	UNIDAD
Tamaño de muestra	15	vacas
Población de estudio	61	vacas
Peso promedio	542	kg
Cantidad de excremento	427	kg

Realizado por: Glenda Ortega S.

Fuente: Hacienda ROCON.

Tabla 9-3. Dimensiones de Biodigestor de campana flotante

DATOS DEL BIODIGESTOR			
PARAMETRO	SIMBOLOGÍA	VALOR	UNIDAD
Flujo de materia orgánica	Fp	17,8	kg/h
Flujo de alimentación	Fa	655,2	kg/día
Producción de biogás experimental	Pb	0,63	L/día
Producción de biogás combinado	Pbc	45,86	L/día
Densidad de purines	p	1,015	kg/L
volúmen de alimentación	Qa	26,9	L/h
Producción de biogás	Qg	1,00	m ³ /h
Producción diaria de biogás	Vg	24,00	m ³
DIMENSIONES DE LA CÁMARA DE FERMENTACIÓN			
Masa de la campana	Mc	2569,2	kg
Radio de la campana	Rc	1,52	m
Altura de la campana	Hc	3,28	m
Altura total de la campana	Hct	3,30	m
Solapamiento	S	0,02	m
Radio del cuero del biodigestor	Rr	1,54	m
Volumen campana de fermentación	Vcf	39,62	m ³
Altura de la campana de fermentación	Hr	7,88	m
DIMENSIONES FONDO DE MEZCLADO			
Radio del fondo de mezclado	Rf	1,54	m
Altura del fondo de mezclado	Hf	0,462	m
DIMENSIONES DE LA CÁMARA DE ALIMENTACIÓN			
Volúmen cámara de alimentación	Va	0,64	m ³

Volúmen cámara de alimentación con % de seguridad	Vac	0,832	m3
Longitud de cámara de alimentación	La	0,94	m
DIMENSIONES CÁMARA DE DESCARGA			
Flujo de descarga	Fb	26,37	kg/L
Fracción sólidos de descarga	Xstb	0,15	
Concentración de sólidos	% stb	15	%
Densidad sólidos de descarga	b	1,02	kg/L
Volúmen de descarga	Vd	0,62	m3
Volúmen con % de seguridad	Vdc	0,81	m3
Longitud de cámara de descarga	Lad	0,93	m

Realizado por: Glenda Ortega S.

Fuente: Hacienda ROCON.

3.9. Impacto ambiental generado en la instalación.

Se utilizó la matriz de Leopold, para la identificación de las interacciones o problemas existentes en la hacienda, en la cual se obtuvieron los siguientes valores con respecto a magnitud e importancia:

De acuerdo a los impactos ambientales que se producirían al implementar el biodigestor en la Hacienda “ROCON”, se identificó los siguientes daños ambientales:

- ✓ Movilización instalaciones
- ✓ Alteración de la cubierta vegetal
- ✓ Transporte de equipo
- ✓ Excavación
- ✓ Recubrimiento de cemento estructura de descarga
- ✓ Acondicionamiento de cauce
- ✓ Eliminación de la capa fértil del suelo

De acuerdo a su magnitud y a su importancia, los impactos que ocasionarían más daños serían la excavación, eliminación de la capa fértil del suelo; esto se los puede minimizar con un adecuado manejo de residuos producidos en esta actividad, además se debería trabajar con materiales amigables con el amienta, tratando de dejar el lugar intervenido lo más cercano a como se lo encontró.

Con respecto a los impactos positivos que se producirían en la instalación del biodigestor es la generación de fuentes de trabajo para las personas que viven a los alrededores de la Hacienda, además de su funcionamiento ya que también es necesario personal para esto.

Tabla 10-3: Matriz de identificación de impactos

DISEÑO DE UN BIODIGESTOR ANAERÓBICO PARA LA GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LOS DESECHOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LA HACIENDA ROCON													
IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS													
ACCIONES													
FACTORES AMBIENTALES	MEDIO	FISICO	IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS	FASE DE CONSTRUCCION								NUMERO DE ITERACIONES	
				OBRAS PRELIMINARES				MOVIMIENTO DE TIERRAS					
				MOVILIZACIÓN	INSTALACIONES	ALTERACIÓN DE LA CUVIERTA VEGETAL	TRANSPORTE DE EQUIPO	EXCAVACIÓN	RECUBRIMIENTO DE CEMENTO	ESTRUCTURA DE DESCARGA	ACONDICIONAMIENTO DE CAUCE		ELIMINACIÓN DE LA CAPA FERTIL DEL SUELO
		SU A I R E	MATERIAL PARTICULAR	X	X	X		X	X		X	X	7
			RUIDO	X	X	X	X	X	X	X	X		9
		SU E L O	EROSION	X	X	X		X					4

			INESTABILIDAD	X	X	X								3	
			SEDIMENTACION						X		X			2	
			COMPACTACION	X	X	X	X				X	X		6	
			REMOSION DE TIERRA	X	X	X		X			X	X		6	
			INUNDACION					X						1	
		A G U A	CALIDAD DE AGUA					X	X		X			3	
			REGIMEN FLUVIAL					X						1	
			VARIACION DEL FLUJO					X						1	
			VIDA ACUATICA					X						1	
	B I O L O G I C O	F L O R A	CUBIERTA VEGETAL	X	X	X						X		4	
			TALA O DESBROCE	X	X	X									3
		F A U N A	DIVERSIDAD BIOLOGICA	X		X								2	
			ESPECIES TERRESTRES EN PELIGRO	X	X	X	X								4
			ESPECIES ACUATICOS EN PELIGRO					X							1
S O C I O E C O N O M I C O	E C O N O M I C O	USO ACTUAL DEL SUELO	X	X	X						X			4	
		POTENCIAL AGROPECUARIO	X	X										2	

			POTENCIAL TURISTICO Y RECREACION	X	X	X	X		X	X		X	7
			RIESGOS SANITARIOS	X	X	X	X						4
			POBLACION ECONOMICAMENTE ACTIVA	X	X	X	X	X	X	X		X	8
		CULTURAL	PAISAJE	X	X	X	X	X	X	X	X	X	9

Realizado por: Glenda Ortega S.

Fuente: Hacienda ROCON

Tabla 11-3: Matriz de Ponderación de Impactos

DISEÑO DE UN BIODIGESTOR ANAERÓBICO PARA LA GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LOS DESECHOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LA HACIENDA ROCON																
PONDERACIÓN DE IMPACTOS																
MAGNITUD					FASE DE CONSTRUCCION											
					MOVILIZACIÓN	INSTALACIONES	ALTERACIÓN DE LA CUVERTA VEGETAL	TRANSPORTE DE EQUIPO	EXCAVACIÓN	RECUBRIMIENTO DE CEMENTO	ESTRUCTURA DE DESCARGA	ACONDICIONAMIENTO DE CAUCE	ELIMINACIÓN DE LA CAPA FERTIL DEL SUELO	PROMEDIOS POSITIVOS	PROMEDIOS NEGATIVOS	PROMEDIOS ARITMETICOS
FACTO	MEDIO	FÍSICO	AIRE	IMPORTANCIA												
				MATERIAL PARTICULAR	-6/4	-4/2	-5/3		-8/7	-7/7		-6/7	-5/4	0	7	-214
				RUIDO	-5/3	-5/3	-5/4	-5/3	-8/5	-6/5	-6/4	-5/5	-5/6	0	9	-214

			SUELO	EROSION	-4/3	-4/4	-2/2		-7/5				0	4	-63	
				INESTABILIDAD	-4/3	-4/4	-7/5						0	3	-39	
				SEDIMENTACION						-6/6		-5/4		0	2	-56
				COMPACTACION	-3/2	-3/3	-2/2	- 3/3				6/3	-2/2	1	6	-14
				REMOSION DE TIERRA	-6/5	-7/5	-5/4		-8/6			-4/3	-5/3	0	6	-160
			AGUA	INUNDACION					-7/4					0	1	-28
				CALIDAD DE AGUA					-6/4	-7/6		-2/2		0	3	-70
				REGIMEN FLUVIAL					-6/5					0	1	-30
				VARIACION DEL FLUJO					-5/3					0	1	-15
			FLORA	CUBIERTA VEGETAL	-7/6	-7/6	-3/4						-6/5	0	4	-84
				TALA O DESBROCE	-7/6	-3/5	-3/4							0	3	-69
			FAUNA	DIVERSIDAD BIOLOGICA	-6/4		-3/2							0	2	-30
				ESPECIES TERRESTRES EN PELIGRO	-5/5	-2/2	-2/2	- 2/2					-3/3	0	4	-37
				ESPECIES ACUATICOS EN PELIGRO					-6/6					0	1	-36
			SO CI O	USO ACTUAL DEL SUELO	-6/5	-3/3	-2/2		-2/2			-2/2	-5/4	0	5	-51

		POTENCIAL AGROPECUARIO	-5/3	-1/2							0	2	-17	
		POTENCIAL TURISTICO Y RECREACION	-7/6	-1/2	-2/2	-2/2	-2/2	-2/2		-5/5	0	7	-83	
		RIESGOS SANITARIOS	-6/6	-5/4	-1/1	-1/1					0	4	-58	
		POBLACION ECONOMICAMENTE ACTIVA	8/5	5/4	5/4	4/2	9/7	7/4	6/4	5/5	8	0	228	
	CULTURAL	PAISAJE	-8/8	-3/4	-3/4	-5/4	-8/8	-8/8	-7/6	-2/2	-7/5	0	9	-317

PROMEDIOS POSITIVOS	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PROMEDIOS NEGATIVOS	15	14	14	6	13	6	3	7	7
PROMEDIOS ARITMETICOS	-367	-169	-98	-45	-366	-197	-46	-93	-134

Realizado por: Glenda Ortega S.

Fuente: Hacienda ROCON

3.10. Análisis de Costos

Analizados los materiales y los costos de los mismos, se plantea el siguiente presupuesto, para la construcción del biodigestor en la hacienda ROCON.

Tabla 12-3. Materiales a utilizar en la construcción

PRESUPUESTO BIODEGESTOR					
RUBRO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P, UNITARIO	P, TOTAL
1	Replanteo y Nivelación	M2	31.80	0.42	13.36
2	Excavación de Cámara de Fermentación	M3	49.11	8.20	402.70
3	Contrapiso de Piedra e= 0,15cm	M2	7.18	14.45	103.75
4	Hormigón Armado en Cartela Incluido Acero	Glb.	1.00	189.30	189.30
5	Cámaras de alimentación y descarga	U	2.00	75.71	151.42
6	Tubo pvc 3"	U	2.00	7.50	15.00
7	Tubo pvc 4"	U	2.00	8.50	17.00
8	Campana de Acero Negro e= 10 mm Incl. Mano de Obra	U	1.00	2763.68	2763.68
9	Válvula de Salida de Biol 3"	U	1.00	185.30	185.30
10	Montaje de Campana Incluido Transporte	U	1.00	1000.00	1000.00
				TOTAL	4841.51

Realizado por: Glenda Ortega S.

Fuente: Hacienda ROCON.

CONCLUSIONES

- La Hacienda “ROCON” mantiene una población de 60 vacas lecheras en producción las mismas que son estabuladas durante 4 horas al día por el ordeño diario a que son sometidas, esto permite la obtención 655. 2 kg/día de purín, en un solo sitio, con un contenido de pH 7,15, un DQO de 19,087, un DBO 14,092, Nitratos con un valor de 41,89, Ceniza 2,53%, Materia Seca 10,735%, y finalmente con una Humedad 89,25%.
- Se comprobó que el purín obtenido del ganado lechero alcanza un rendimiento promedio de producción de biogás de 0.63 litros/día, con un tiempo de retención de 36 días, y una temperatura promedio de 16°C; generando en promedio de 0.34 m³/Kg de sólidos alimentados; una vez obtenidos los datos en la parte experimental, se diseñó el biodigestor, el cual está compuesto por tres cámaras, la de alimentación, de fermentación y de descarga la mismas que cuentan con un volumen de 0,64m³, 39,62m³ y 0,62m³, respectivamente; el biodigestor en sí, con una altura de 9,62 m, sobresaliendo del nivel del suelo 2,72m; un radio de 1,45 m., un volumen de carga 655,2 kg/día que alcanzaría una producción de biogás de 24 m³/día.
- A partir de estos resultados se elaboraron los planos del biodigestor de campana flotante, esto permitirá al propietario la implementación del mismo en la hacienda “ROCON” consiguiendo así la disminución de residuos orgánicos (excretas de ganado) convirtiéndolos en materia prima utilizada para generar biogás y abono.
- De acuerdo a los impactos que podría ocasionar la construcción del biodigestor serán de mínimo impacto, por la excavación del sitio donde se implantará las cámaras, de esto quiere decir que con un Plan de Manejo en la fase de construcción, el entorno y los diferentes factores no se verán afectados significativamente y se podrá recuperar la flora afectada.
- La energía a obtenerse (Biogás), será utilizado para el calentamiento de agua, durante las horas del ordeño (4 horas/día) para el aseo y limpieza de las ubres del ganado lechero, y del equipo de ordeño.

RECOMENDACIONES

- Además del biogás que será generado por el biodigestor, va a existir la presencia de biol, el mismo que será utilizado como abono orgánico para los pastos que se encuentran dentro de la hacienda localizados hacia la parte baja del sector donde se ubicará el Biodigestor, ya que al ser un producto de origen natural, garantiza sus bondades sin afectar al medio ambiente suelo, aire y agua.
- La alimentación diaria de materia orgánica al digestor deberá seguirse las siguientes recomendaciones:
 - ✓ Utilizar la cantidad adecuada de estiércol y agua (relación 1:1)
 - ✓ Hacer la carga en horas de mayor temperatura ambiente, 12h00 hasta las 14h00, debido a que esto ayuda a que la materia prima ingrese con mayor temperatura al proceso de fermentación.
 - ✓ Alimentar diariamente la materia prima al biodigestor, de no hacerlo se afectaría el rendimiento en la calidad y cantidad de biogás.
- Para la extracción de biogás se realizará a través de la tubería de conducción desde la campana de almacenamiento hasta el sitio de utilización.

BIBLIOGRAFÍA

- **ACURIO, G.**, Diagnostico de la situación del manejo de residuos sólidos municipal en América Latina y el Caribe., 18ª ed., Santiago de Chile-Chile., Editorial Publicación conjunta del Banco Interamericano de Desarrollo y la Organización Panamericana de la Salud., 2009., Pp. 10.
- **ARBOLEDA, Y.**, Fundamentos para el desafío de biodigestores. Ing. Agrícola., Facultad de Ingeniería y Administración., Escuela de Ingeniería Agrícola., Universidad Nacional de 108
- **BERMÚDEZ, J. et al.**, *La Digestión Anaerobia.*, s. ed., Murcia-España., Universidad de Murcia., 1988., Pp. 16,17-19.
- **CASTELLS, X.**, Tratamiento y Valorización Energética de Residuos., s. ed., Madrid-España., Díaz de Santos., 2005., Pp. 95.
- **CASTELLS, X.**, Aprovechamiento de residuos Agrícolas y Forestales: Reciclaje de residuos industriales., s. ed., Madrid-España., Díaz de Santos., 2012., Pp.726.
- **CHAVEZ, R y OTROS.**, Biodigestores y el protocolo de Kyoto., 1º ed., Lima., Norma., 2007., Pp. 9-11, 38-40.
- **CHAÚR, J.**, El biogás., s. ed., Bogotá-Colombia., Produmedios., 2001., Pp. 23.
- **MARTÍNEZ, L.**, El Estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el Medio Ambiente., 3a ed., Madrid-España Editorial Ministerio de Agricultura Pesca y Ganadería., 2012., Pp. 19.
- **HILBERT, J.**, Manual para la producción de Biogás., s. ed., España Instituto de Ingeniería Rural I.N.T.A.-Castelar., 2004., Pp. 4f 49.
- **MORENO, J.**, Compostaje., Iraed., Madrid., Mundi-Prensa Libros 2007., Pp. 13.
- **PALOMINO, S.**, Manual de granja integral Autosuficiente., 1º ed., Bogotá D.C.-Colombia., San Pablo., 2004., Pp. 193.

- **VARNERO, M.**, Manual de Biogas., 1° ed., Santiago de Chile-Chile., Editorial Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura., 2011., Pp. 9.

- **Fundamentos para el diseño de biodigestores**

<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/031042/031042.pdf>

(24/06/2014)

- **Tipos de biodigestores**

<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/031042/031042.pdf>

(24/06/2014)

- **Biodigestores de campana flotante**

http://programaecomar.com/Biodigestores_Aqualimpia.pdf

(3/07/2014)

- **Fermentación anaeróbica**

<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/031042/031042.pdf>

(20/06/2014)

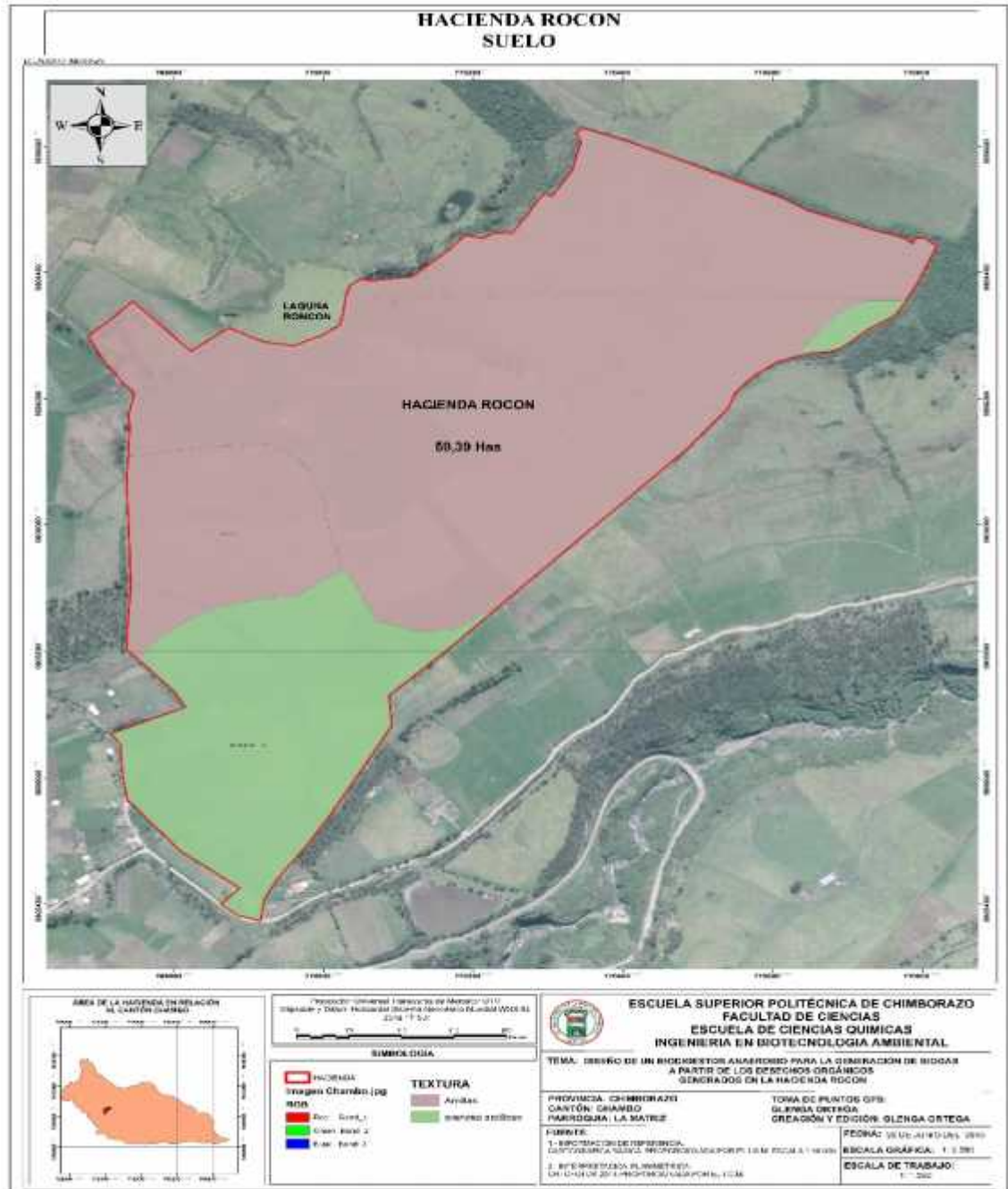
- **Parámetros de funcionamiento de los biodigestores**

<http://www.bio-nica.info/biblioteca/Biodisgestores.pdf>

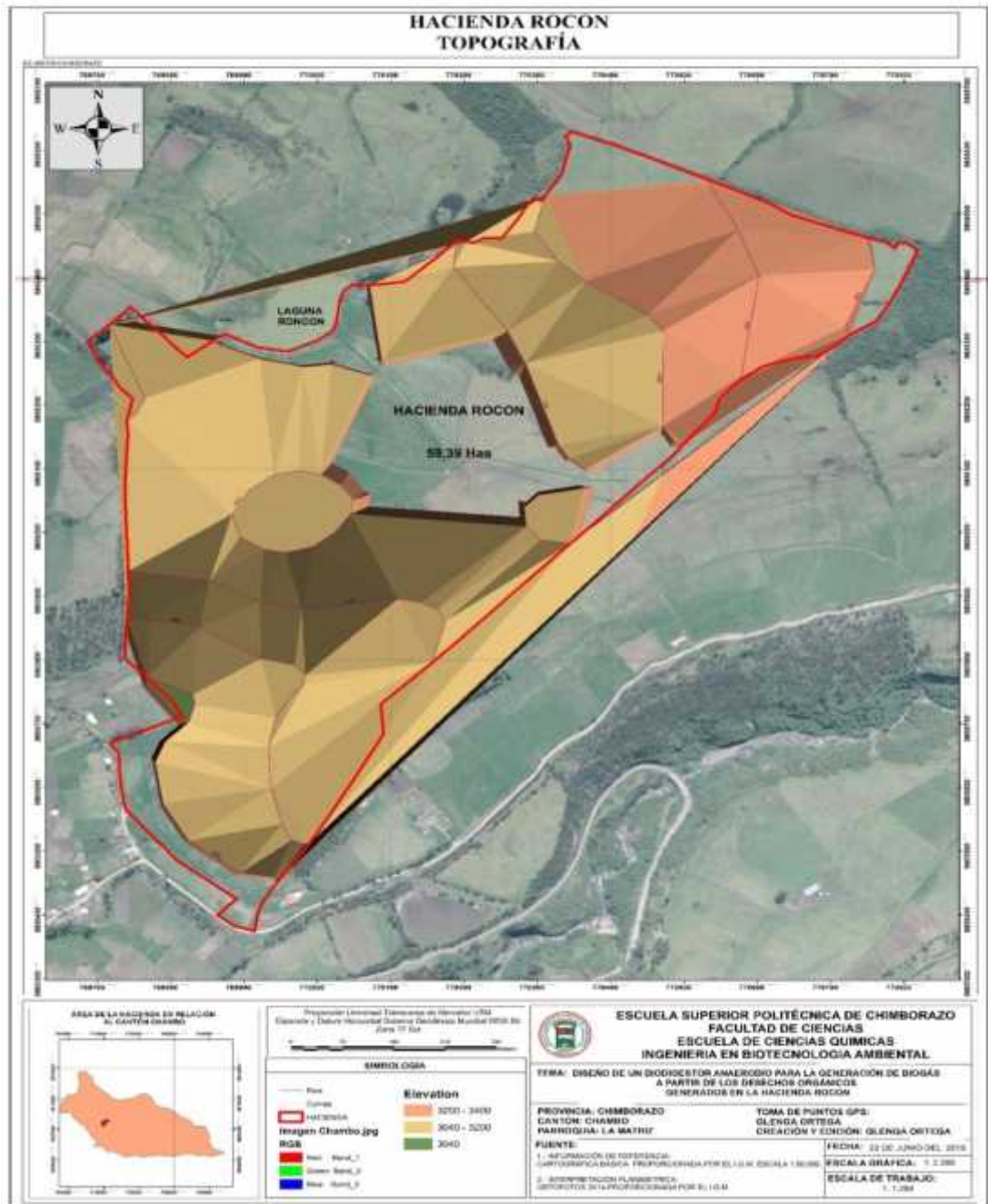
(29/06/2014)

ANEXOS

Anexo N°1: Mapa de Suelo



Anexo N°2: Mapa de la Topografía



Anexo N°3: Fotografía población de estudio



Anexo N°4: Fotografías selección de la muestra



Anexo N°5: Recolección de muestra



Anexo N°6: Elaboración del biodigestor casero



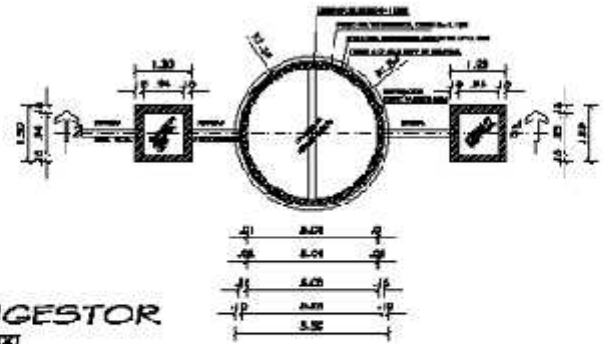
Anexo N°7: Biodigestor casero



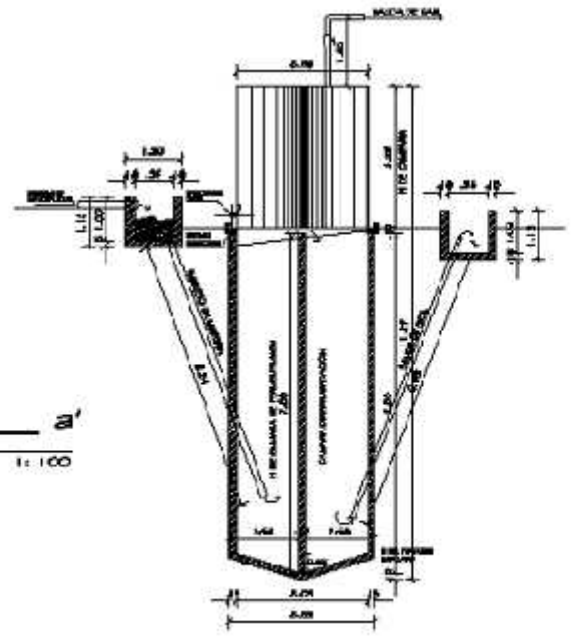
Anexo N°8: Producción de flama



Anexo N°9: Planos del biodigestor.



PLANTA BIODIGESTOR
Escala: 1:100



CORTE a-a'
Escala: 1:100

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA
DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERIA
EN BIOTECNOLOGIA AMBIENTAL

TITULO:

DISEÑO DE UN BIODIGESTOR
PARA LA GENERACION DE BIOGAS
A PARTIR DE LOS DESECHOS
ORGANICOS GENERADOS EN LA
HACIENDA " ROCON "

MENTOR:

Dr. OSWALDO LOPEZ

ASESOR:

Dr. MAN RAUROS

AUTOR:

CARRERA CIVIL DE INGENIERIA SANCHEZ

CONTIENE:
PLANTA DE BIODIGESTOR
CORTES a-a'

LAVINA:

A1

de 1

REVISADO:

Fecha:
AÑO: 2012

SIMBOLOGIA			
Ec	INDIO DE CHAMPA	Lc	CHAMPA DE ALMAYÓN
Ec	ALMAYÓN DE CHAMPA	Lm	INDIO DE CHAMPA DE ALMAYÓN
Ec	INDIO DE CHAMPA	Lr	ALMAYÓN DE CHAMPA DE ALMAYÓN
Ec	ALMAYÓN DE CHAMPA DE ALMAYÓN	La	CHAMPA DE ALMAYÓN DE ALMAYÓN