

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE EXCRETAS DEL GANADO  
BOVINO DEL ESTABLO MONTEVERDE PARA LA GENERACIÓN  
DE ENERGÍA Y SU USO EN EL ORDEÑO MECÁNICO**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO INDUSTRIAL**

**AUTOR**

**PRETELL SAMAN, CARLOS FELIPE**

**Chiclayo, 7 de noviembre de 2017**

**PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE EXCRETAS DEL  
GANADO BOVINO DEL ESTABLO MONTEVERDE PARA  
LA GENERACIÓN DE ENERGÍA Y SU USO EN EL ORDEN  
MECÁNICO**

PRESENTADA POR:

**PRETELL SAMAN, CARLOS FELIPE**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

APROBADA POR:

---

Mgtr. Salazar Zegarra, Sonia

PRESIDENTE

---

Ing. Espinoza García Urrutia, María Luisa

SECRETARIO

---

Ing. Peche Cieza, Diana

ASESOR

## **DEDICATORIA**

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más.

A mi madre que me ha acompañado durante todo mi trayecto estudiantil y de vida a pesar que ya no esté entre nosotros, puesto quien fue ella que ha velado por mí durante este arduo camino para llegar a ser un profesional.

A mi padre quien con sus consejos ha sabido guiarme para culminar mi carrera profesional.

A mi hermana Lady por ser el ejemplo de una hermana mayor y de la cual aprendí aciertos y de momentos difíciles.

A mi hermana Paola por estar conmigo y apoyarme siempre.

A mis profesores, gracias por su tiempo, por su apoyo así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por haberme dado fuerza y valor para culminar esta etapa de mi vida.

A mi padre por su apoyo incondicional, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me ha demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

A mi madre, que siempre la he sentido presente a pesar que ya no se encuentre entre nosotros. Y sé que está orgullosa de la persona en la cual me he convertido.

A mi hermana Lady, que con sus consejos me ha ayudado a afrontar los retos que se me han presentado a lo largo de mi vida.

A mi hermana Paola por ser una gran amiga para mí, que junto a sus ideas hemos pasado momentos inolvidables y una de las personas más importantes.

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
RESUMEN .....	x
ABSTRACT .....	xi
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>14</b>
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA. ....	14
2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	18
<b>III. RESULTADOS .....</b>	<b>41</b>
<b>3.1. Disponibilidad y características de las excretas bovinas en el establo Monteverde. ....</b>	<b>41</b>
3.1.1. Descripción del establo Monteverde.....	41
3.1.2. Disponibilidad de las excretas bovinas:.....	43
3.1.3. Características de las excretas bovinas:.....	44
<b>3.2. Demanda de consumo de energía en el área de ordeño mecánico.....</b>	<b>48</b>
3.2.1. Consumo de energía en el área de ordeño mecánico: .....	48
3.2.2. Proyecciones de la demanda de energía en el ordeño mecánico. ....	49
3.2.1. Maquinarias y equipos del área de ordeño mecánico. ....	54
<b>3.3. Diseño del sistema de tratamiento de excretas para la obtención de biogás .....</b>	<b>55</b>
3.3.1. Metodología para la selección del tipo de biodigestor .....	56
3.3.2. Metodología para el diseño de un biodigestor de campana fija: .....	58
3.3.3. Instalaciones complementarias para la construcción del biodigestor ..	65
3.3.4. Instalaciones de equipos y tuberías .....	67
Cálculos para hallar las medidas de una trampa del sulfuro de hidrógeno .....	68
3.3.5. Consideraciones para el diseño estructural de un sistema de biogás....	83
3.3.6. Dimensiones para hallar el espacio requerido de los equipos dentro del establo Monteverde. ....	88

3.3.7. Materiales de construcción para el biodigestor campana fija .....	93
3.3.8. Diagrama de operaciones de proceso para el recojo de excretas.....	94
<b>3.4. Análisis costo - beneficio de la propuesta para la instalación de un sistema generador de biogás.....</b>	<b>96</b>
3.4.1. Profundidad del pozo a perforar .....	97
3.4.2. Costos de construcción del biodigestor: .....	100
3.4.3. Costos de inversión para la instalación de un sistema de biogás .....	102
3.4.4. Depreciación de las instalaciones .....	102
3.4.5. Análisis de costo beneficio .....	103
3.4.6. Análisis de sostenibilidad ambiental .....	105
<b>IV. CONCLUSIONES .....</b>	<b>112</b>
<b>V. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>113</b>
<b>VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>114</b>
<b>VII. ANEXOS.....</b>	<b>119</b>
Anexo 1. Carta de aceptación de datos .....	119
Anexo 2. Registro fotográfico área de ordeño mecánico.....	120
Anexo 3. Registro fotográfico de alimentación y excremento del ganado en el establo Monteverde .....	121
Anexo 4. Análisis físico – químico de las excretas bovinas.....	122
Anexo 5: Consideraciones del laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina, para el envío de las muestras de excretas bovinas. ....	123
Anexo 6. Cálculos para hallar las cantidades a utilizar en la construcción del biodigestor, el tanque de carga, tanque de descarga, tuberías y codos: .....	124
Anexo 7: Recibo de luz Hidrandina .....	129

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Composición del biogás.....	19
Tabla N° 2: Valores indicativos de tiempos de retención .....	27
Tabla N° 3: Tiempo de retención .....	27
Tabla N° 4: Relación estiércol – agua .....	29
Tabla N° 5: Tipos de biodigestores .....	32
Tabla N° 6: Composición química del estiércol fresco y seco .....	38
Tabla N° 7: Concentración media de algunos parámetros de los purines de vacuno .	39
Tabla N° 8: Parámetros físico-químicos de las aguas residuales.....	39
Tabla N° 9: Estimación de la posible carga orgánica (representada en la producción diaria de estiércol) .....	44
Tabla N° 10: Parámetros físico-químico de las excretas bovinas .....	45
Tabla N°11: Resultados y comparación de parámetros físico-químico en otras investigaciones.....	46
Tabla N° 12: Consumo de energía eléctrica en el área de ordeño mecánico .....	48
Tabla N° 13: Proyecciones del consumo de energía .....	49
Tabla N° 14: Cantidad de energía producida por los datos obtenidos del biogás .....	53
Tabla N° 15: Máquinas – equipos del área de ordeño mecánico. ....	54
Tabla N°16: Diferencias y similitudes entre los modelos de biodigestores más conocidos .....	55
Tabla N° 17: Ponderación para determinar el biodigestor a utilizar. ....	56
Tabla N° 18: Ponderación para determinar el biodigestor .....	57
Tabla N°19: Resultados de los factores de ponderación para determinar el biodigestor .....	57
Tabla N° 20: Especificaciones técnicas del tanque A .....	74
Tabla N° 21: Especificaciones técnicas del tanque B.....	75
Tabla N° 22: Criterios de selección para determinar el tanque a utilizar. ....	76
Tabla N° 23: Ponderación para determinar el tanque de almacenamiento .....	77
Tabla N° 24: Resultados de los criterios de selección para determinar el tanque de almacenamiento .....	77
Tabla N° 25: Especificaciones técnicas del generador A.....	78
Tabla N° 26: Especificaciones técnicas del generador B.....	79
Tabla N°27: Criterios de selección para determinar el generador de energía utilizar.	80
Tabla N° 28: Ponderación para determinar el generador de energía.....	81
Tabla N° 29: Resultados de los criterios de selección para determinar el generador..	81
Tabla N° 30: Proporciones recomendadas para la preparación de morteros .....	85
Tabla N° 31: Dimensiones de los equipos .....	88
Tabla N° 32: Cálculo para hallar la superficie de los equipos.....	90
Tabla N° 33: Materiales de construcción.....	93
Tabla N°34: Diagrama de proceso del hombre - máquina, para la operación de perforación.....	99

Tabla N° 35: Costo de materiales y equipos .....	101
Tabla N° 36: Costo de mano de obra .....	101
Tabla N° 37: Inversión inicial.....	102
Tabla N° 38: Porcentajes anuales de depreciación y años de vida del equipo .....	103
Tabla N° 39: Beneficio .....	103
Tabla N° 40: Financiamiento .....	104
Tabla N° 41: Matriz de Leopold.....	106
Tabla N° 42: Medidas mitigadoras para la etapa de construcción .....	110
Tabla N° 43: Medidas mitigadoras para la etapa de funcionamiento .....	111



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Esquema de los usos del biogás.....	21
Figura N° 2: Etapas de la digestión anaeróbica.....	24
Figura N° 3: Influencia de la temperatura sobre el tiempo de retención .....	30
Figura N° 4: Esquema de una planta de campana flotante (tipo hindú).....	33
Figura N° 5: Esquema de una planta de cúpula fija .....	35
Figura N° 6: Esquema de una planta de balón plástico. ....	35
Figura N° 7: Esquema del establo Monteverde .....	42
Figura N° 8: Mapa de la ubicación geográfica del establo Monteverde. ....	43
Figura N° 9: Lectura del factor de corrección para el tiempo de retención. ....	59
Figura N° 10: Variables involucradas en el dimensionamiento del biodigestor. ....	60
Figura N° 11: Volumen de almacenamiento de gas (área sombreado). ....	63
Figura N° 12: Tanque de compensación .....	64
Figura N° 13: Corte transversal del esquema completo del biodigestor.....	64
Figura N° 14: Tanque de mezcla.....	65
Figura N° 15: Ducto de carga.....	66
Figura N° 16: Tanque de descarga .....	67
Figura N° 17: Montaje de una trampa de ácido sulfhídrico .....	68
Figura N° 18: Partes de una trampa de ácido sulfhídrico realizada con tuberías y accesorios plásticos.....	69
Figura N° 19: Medidas de la trampa de ácido sulfhídrico .....	73
Figura N° 20: Tanque A.....	75
Figura N° 21: Tanque B .....	76
Figura N° 22: Generador A.....	79
Figura N° 23: Generador B.....	80
Figura N° 24: Tubos de PVC para gas .....	82
Figura N° 25: Ejecución de las partes principales de una planta de biogás. ....	83
Figura N° 26: Ejecución y terminación del cuello típico para una planta de biogás ...	87
Figura N° 27: Cuello para una planta de biogás, que permite el acceso y la extracción del biogás. ....	87

## RESUMEN

La presente investigación se centra en la propuesta de tratamiento de excretas de ganado bovino para la generación de energía eléctrica en el área de ordeño mecánico en la empresa ganadera “Establo Monteverde”, lo que permitirá reducir los costos a largo plazo de energía eléctrica, además del beneficio en la utilización de energía limpia, contribuyendo a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero producto de las fuentes fósiles.

Inicialmente se evaluó la disponibilidad y características de las excretas bovinas en el establo las cuales desechan 75 125 kg/día, teniendo en cuenta el ganado disponible para determinar la cantidad aproximada de biogás produciéndose 54 m<sup>3</sup>/día, la calidad de las excretas se determinó a través de un análisis físico - químicos y biológicos como 8,20 de pH, 132 500 mgO<sub>2</sub>/l de sólidos suspendidos totales, 15 864,41 mgO<sub>2</sub>/l de DQO, 70 000 mgO<sub>2</sub>/l de DBO, 506,45 mg/l de fósforo y 1121,40 mg/l de nitrógeno ; luego se estimó la cantidad de energía que se necesitará para el área de ordeño mecánico a través del consumo de energía eléctrica de 8 018 kWh en los últimos 12 meses. Se propuso un diseño del sistema de tratamiento de excretas para obtener biogás mediante método de campana fija y así atender la demanda de energía por la empresa, y en última instancia se realizó un análisis costo-beneficio de la propuesta del sistema de obtención de biogás. Con los objetivos trazados en esta propuesta se logrará un tratamiento de las excretas bovinas para generar energía eléctrica y posteriormente atender la demanda para el ordeño mecánico.

**Palabras clave:** Biogás, Estiércol, Biodigestor, Biomasa.

## **ABSTRACT**

This research focuses on the proposed treatment of cattle manure for power generation in the area of mechanical milking in the cattle business "Estable Monteverde", which will reduce long-term costs of electricity, in addition to the benefit in using clean energy, contributing to reducing emissions of greenhouse gases from fossil fuels product.

Initially the availability and characteristics of the bovine excreta in the stable were evaluated, which discard 75 125 kg/day, taking into account available livestock to determine the approximate amount of biogas producing 54 m<sup>3</sup>/day, the quality of the excreta was determined through a physical - chemical and biological analysis such as 8,20 pH, 132 500 mgO<sub>2</sub>/l of total suspended solids, 15 864,41 mgO<sub>2</sub>/l of DQO, 70 000 mgO<sub>2</sub>/l of DBO, 506,45 mg/l phosphorus and 1121,40 mg/l nitrogen, then estimated the amount of energy that will be needed for the mechanical milking area through the consumption of electric energy of 8 018 kWh in the last 12 months. A design system for sewage treatment biogas method was proposed by fixed hood and thus meets the demand for energy by the company, and ultimately cost-benefit ratio of the proposed biogas system analysis was performed. With the objectives outlined in this proposed treatment of bovine manure to generate electricity and then meet the demand for machine milking is achieved.

**Keywords: Biogas manure, Biodigestor, Biomass.**

## I. INTRODUCCIÓN

A menudo a nivel mundial se habló sobre grandes sistemas capaces de convertir materia orgánica como excretas de animales en biogás, el cual es usado comúnmente para cocinar o producir energía eléctrica. (Salazar, et al. 2012).

La tierra posee muchas fuentes potenciales de energía renovable, que pueden satisfacer parte de las crecientes demandas de energía. Algunas formas de energía alternativa, como la biomasa, son abundantes localmente. En los países en desarrollo, las fuentes de energía no son los combustibles fósiles, más bien son las materias primas combustibles, más fáciles de obtener y mucho más baratas como el estiércol animal, llamada también energía de la biomasa. En la actualidad existe tecnología para producir biogás cuyo componente principal es el metano, un gas invernadero, a través de un proceso llamado digestión anaerobia (Craig, et al. 2007).

En muchos países, la biomasa (material de desechos de las plantas y animales) es una fuente de energía común. La energía de los materiales de biomasa puede liberarse mediante la combustión o dejando que se pudra y produzca biogás (un tipo de gas natural). El biogás se produce cuando la materia orgánica se pudre. Cuando el biogás se captura en un envase cerrado, se puede producir una llama pequeña para cocinar, generar electricidad, calentar el ambiente, iluminar, bombear agua y poner en marcha motores y equipo agrícola. Al convertir en energía la materia orgánica proveniente de desechos humanos, animales y plantas, el biogás nos permite transformar los desechos en recursos buenos para el medio ambiente y para la salud de la comunidad. El biogás se puede elaborar a partir de diferentes clases de materia orgánica: Estiércol y orín animal, heces y orín humano, desechos de comida como carne, sangre, huesos y restos de legumbres, materia de plantas tales como residuos de cosechas, paja, hojas, troncos, ramas y pasto cortado. (Guía Comunitaria para la salud ambiental 2011).

La Localidad de Jequetepeque ubicado en la Región La Libertad, se caracteriza por impulsar y priorizar el desarrollo de la actividad agrícola, ganadera y afines; estas actividades productivas generan residuos los cuales no están siendo aprovechados adecuadamente en zonas rurales donde la población carece de fuentes energéticas (gas doméstico y energía eléctrica) para sus hogares. La utilización de los residuos provenientes de la ganadería (excretas) es una alternativa significativa para la obtención de gas natural (biogás) a través de los biodigestores los cuales reducirán esta demanda de energía en el establo “Monteverde”.

El establo “Monteverde” es una empresa dedicada a la producción y venta directa de leche fresca, dónde el ordeño de las vacas se da 2 veces al día 4 a.m. y 4 p.m.; cuenta con una máquina de ordeño “Watfalla” con 32 unidades, 16 unidades por lado

(izquierda y derecha), tiene un área de 5 hectáreas en donde se mantiene al ganado, esta empresa se ubica en la localidad de Jequetepeque, departamento de la Libertad. El establo labora 10 horas al día, todo el excremento producido por el ganado bovino es desechado hacia unos canales o vendido, perdiendo una fuente muy importante y valiosa para producir biogás y generar energía limpia, en la cual se podría abastecer a la misma empresa y así reducir sus costos en consumo de energía pública. Ésta energía se podría utilizar en el área de ordeñado ya que es el área de producción donde existe un mayor consumo de energía puesto que cuenta con máquinas ordeñadoras; y también se podría utilizar esta energía en otras áreas del establo como las oficinas.

La empresa cuenta con un total 2 200 cabezas de ganado lechero de las razas Holstein de 650 kg y Brown Swiss de 700 kg entre vacas de producción y terneros que están en el área de criadero. Las vacas producen mucho más que cualquier otro animal y son la mejor fuente de biogás combustible.

Para este proyecto se plantea la siguiente interrogante ¿En qué medida las excretas del ganado bovino del establo “Monteverde”, permitirá la generación de energía para el ordeño mecánico? Puesto que se propone realizar un tratamiento de excretas del ganado bovino para generar energía eléctrica para el área de ordeño mecánico, llevando a cabo los siguientes objetivos que permitirán realizar este proyecto como son; determinar la disponibilidad y características de las excretas bovinas en el establo Monteverde; estimar la demanda de consumo de energía en el área de ordeño mecánico; proponer el diseño del sistema de excretas para la obtención de biogás, y por último realizar un análisis costo-beneficio de la propuesta para la instalación de un sistema generador de biogás.

Lo que también se propone en esta investigación es generar un valor agregado a las excretas de los bovinos, se plantea la necesidad de generar biogás como combustible limpio y posterior a ello transformarla en energía eléctrica para el uso en el área de ordeño del establo.

Esta investigación y análisis de tecnologías nuevas permiten proponer procesos y operaciones innovadoras y viables para que las industrias puedan optimizar sus procesos, mejorando la eficiencia energética, reduciendo sus emisiones, reaprovechando residuos y empleando fuentes energéticas revocables.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.

Fernández et al. (2014), en “Generación de energía renovable a partir del desarrollo de actividades pecuarias en el Departamento de Madre de Dios”, el objetivo del presente trabajo de investigación fundamental es el aprovechamiento y manejo de residuos orgánicos generados por la ganadería (estiércol vacuno y porcino) para la producción de metano ( $CH_4$ ) y biol, mediante la instalación de tecnología de uso de biodigestores y disminuir en parte los niveles de contaminación ambiental y salud; así como también, el mejoramiento económico de la comunidad pecuaria de la región de Madre de Dios, mediante la construcción de la cama de ubicación, se procede a la instalación del reactor de geomembrana de PVC de 10  $m^3$ , inflando este con la utilización de uso de 5 m de una manga de polietileno con diámetro de 2 m, asegurado en un extremo del reactor para la captura de aire del medio ambiente y su introducción dentro de la geomembrana de PVC de 10  $m^3$ , con la finalidad de verificar fugas y observar claramente la posición en que debía ser colocado este, antes de su instalación final, se realizaron las conexiones teniendo como base a instalación de una cocina y/o lámpara a gas hacia un balón de gas propano. En el estudio realizado en Costa Rica, denominado evaluación de la sostenibilidad de la biogeneración de electricidad, por medio del sistema de fermentación anaeróbica, en una combinación de dos Biodigestores tipo Taiwán, alimentados con excretas bovinas y porcinas se obtienen resultados muy similares a los obtenidos en el establo pecuario “Juanita” en términos de eficiencia en la generación de energías renovables y el retorno económico que significa para el productor pecuario local, así como el aporte a la disminución de gases de efecto invernadero, lo que se considera invaluable para efectos de conservación medio ambiental. Concluyendo que la región Madre de Dios tiene potencial para la producción de energía renovable a partir de la biomasa como son los desechos de ganado en zonas rurales, disminuyendo así la formación de aguas residuales que pueden ocasionar problemas ambientales, pudiendo ser posible la adopción tecnológica a pequeña y gran escala por los productores dueños de fundos y establos.

Vera et al. (2014), en “Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I: excretas de ganado bovino y porcino”, se estimó el potencial que tiene esta región para la producción de biogás a través de excretas de ganado vacuno y porcino, además de estimar la generación de energía que se podría obtener empleando este biocombustible como energético para producir energía eléctrica que se aplicaría al alumbrado municipal de esta misma región. Para cuantificar la cantidad de biogás producido se recurrió a la base de datos del INEGI correspondiente al Censo Agropecuario 2007, donde se muestra la cantidad de cabezas de ganado dispuestas

por edades, dependiendo el tipo de ganado. Para el estudio se consideraron tanto el ganado vacuno como el porcino, tomando en cuenta que la región Ciénega es una zona agropecuaria importante del Estado. La energía eléctrica que se puede generar a través del biogás producido por excretas de ganado vacuno y porcino es capaz de sustituir 4,23% aproximadamente de todo el consumo anual de la región Ciénega, sin embargo, monetariamente se podrían ahorrar \$12 309 306 M.N. (911 800 USD) aproximadamente en el año 2013. Concluyendo que el aprovechamiento de las excretas de ganado bovino y porcino para la generación de biogás y obtención de energía eléctrica para abastecer la región Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo, resulta ser altamente atractivo en cuanto al ahorro que se puede obtener en la factura de CFE en una tarifa 5A para alumbrado público, con una aportación energética total de 4,23% del consumo total de esta región. Así también, se contribuiría a la mitigación de la generación de acuerdo a las disposiciones internacionales para la mitigación del calentamiento global.

Vidal et al. (2012), en “Generación de Energía Eléctrica con Biogás producido con excretas de Bovinos”, buscó con ésta y otras investigaciones en las que se está trabajando, demostrar, como en otros países, que la demanda de energía en zonas rurales puede ser parcial o totalmente suministrada mediante el aprovechamiento de las energías renovables. El presente estudio se realizó en la Posta Zootécnica “Torreón del Molino” (PZTM) localizada en la Carretera Federal Veracruz-Xalapa km 14,5, Colonia Progreso, Tejería, dependiente de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Veracruzana. Los biodigestores se instalaron en mayo del 2009 en un terreno adyacente a la sala de ordeña de la PZTM, este terreno era utilizado para depositar las excretas y basura orgánica de las vacas de ordeña sobre la superficie de una manera desordenada. Los cinco biodigestores son de flujo continuo y fueron construidos a partir de tinacos de plástico reforzados para agua, con capacidad de 5000 L c/u. Se diseñaron para que el 75% del volumen del tinaco sea para la fase líquida y el 25% para almacenamiento del biogás. Finalmente fueron enterrados en una fosa de 2 m de ancho x 11 m de largo, quedando la parte superior del biodigestor al nivel del suelo, ubicados en paralelo. La potencia alcanzada del generador con biogás puro fue de 0,724 kW. Se estima que con un biodigestor de 5000 L se producirían 1,28 kWh diarios. Esta producción de energía eléctrica permitiría operar una ordeñadora durante 1,7 horas. Durante una prueba se produjeron 0,226 kWh de electricidad y se consumieron 222 L de biogás, lo que es equivalente a 0,33 kWh/kg MOS, con una calidad de la energía en un rango aceptable de voltaje (120 V) y frecuencia (60 Hz). De esta manera se estima que se podrían producir 1.6 kWh diarios por cada biodigestor de 5 000 L. Esta producción de energía eléctrica le serviría al productor operar el motor de una ordeña durante 2,14 horas a partir de los desechos de sus vacas. Concluyendo que es posible generar electricidad a pequeña escala en ranchos de doble propósito exclusivamente con las heces del

ganado que producen durante las 2 horas de ordeña a través de un generador de gasolina adaptado a biogás enriquecido con gas LP a razón de 7% por volumen de biogás.

Rivas et al. (2012), en “Perspectivas de obtención de energía renovable de la biomasa del estiércol del ganado lechero en la Región centro-sur de Chihuahua”, nos dice que el aprovechamiento del valor energético de los desechos del ganado es uno de los beneficios que actualmente está teniendo auge en muchas partes del mundo, ya que permite aprovechar los residuos de la ganadería y que la obtención del biogás se puede llevar a cabo a través de biodigestores a pequeña y gran escala. Se considera que los establos son una fuente rica para producción de energía a través de la generación de metano, un gas de efecto invernadero de gran impacto ambiental, el cual está contenido en el biogás que puede transformarse en energía eléctrica o térmica. También hacen mención que la generación y uso de biogás como fuente de energía renovable, es una opción rentable, pues permite a las instalaciones ganaderas un ahorro económico al volverse auto sustentable en energía eléctrica y/o calorífica. En este sentido, la biomasa y otras energías renovables se están convirtiendo en una solución atractiva para la mitigación de gases invernadero en el mundo. A diferencia de los depósitos de combustibles fósiles, la biomasa es renovable en el sentido de que sólo se necesita un corto período de tiempo para reemplazar lo que se utiliza como un recurso energético. Hay que mencionar que el metano es importante, ya que tiene un potencial de calentamiento global 25 veces más que el  $CO_2$ . El metano contribuye aproximadamente con el 20% del efecto del calentamiento global causado por actividades humanas. Los desechos animales y los vertederos representan el 10% de las emisiones de metano debido a las condiciones anaeróbicas. Concluyendo que un establo de 1000 vacas que generan  $2\ 000\ m^3$  de biogás/día podrían generar hasta 2 141 kW-h/día. Para el cálculo de energía eléctrica, se debe considerar el nivel de impurezas del biogás y tomar en cuenta que el metano, gas altamente combustible contenido en el biogás, tiene un valor de calentamiento aproximado de  $994\ BTU/ft^3$ , representando uno de los mercados más importantes de energías renovables en México.



Fajardo et al. (2016), en “Obtención de biogás a partir de la pulpa de café y estiércol de res”, pretende que el objetivo de emplear la pulpa de café y el estiércol de ganado vacuno en la presente investigación viene dado a que ambos materiales son considerados desechos de la agroindustria y la actividad pecuaria en el país, constituyéndose ambos en fuentes directas que provocan en gran medida del desmejoramiento de la calidad de las aguas a nivel nacional. Paralelo a ello se debe destacar que el estiércol tiene una relación Carbono: Nitrógeno de 25:1 que lo hace apto para la producción de biogás. El estiércol de res se recopiló en estado fresco directamente de establos y vaquerías, al recogerlo se debe de tratar de recolectar todo el líquido que acompaña a estas deyecciones pues ahí abunda fundamentalmente la orina, la cual es rica en amoníaco. El mismo se almacena en bolsas plásticas, las que se introducen posteriormente en sacos para facilitar el traslado sin que se rompan. El estiércol una vez trasladado al lugar de procesamiento se coloca en el estercolero y es sometido al proceso de dilución con agua en una proporción 1:1. Previo a la dilución se eliminan los desechos que pueden acompañar a este material como piedrecillas, cáscaras, y otros residuos sólidos. Para la pulpa de café se obtuvo una vez que el fruto del cafeto fue cosechado, secado, entrojado y despulpado. El material recogido (39 Kg), se pone a secar en el suelo expuesto al sol, por un tiempo de 4 - 6 horas, en capas de un espesor no mayor a los 4 cm. Para facilitar el secado, las capas se deben remover cada 30 minutos. En esta operación la humedad disminuye del 85% con que se recoge la pulpa hasta el 23%. Posteriormente esta pulpa se coloca en sacos de yute los que se dejan en reposo hasta el día siguiente. Concluyendo que la mezcla de pulpa de café con el estiércol vacuno pre-fermentado constituye una excelente materia prima para la producción de biogás a partir de la relación C:N presente en la misma. Los volúmenes de ambos materiales que actualmente se desechan en el país y el nivel de rendimiento del proceso de biodigestión realizado permiten aseverar que la utilización de ambos materiales para la generación de una fuente alternativa de energía como lo es el biogás es una opción promisoría especialmente para comunidades y familias individuales que vivan en zonas rurales.

## **2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

### **2.2.1. Biogás**

El biogás es el producto gaseoso de la digestión anaerobia de compuestos orgánicos. El biogás es una mezcla de gases cuyos principales componentes son el metano ( $CH_4$ ) y el dióxido de Carbono ( $CO_2$ ) que se produce como resultado de la fermentación de la materia orgánica en ausencia de aire, por la acción de un grupo de microorganismos.

El Biogás con su alto contenido de metano, es una fuente de energía que puede ser utilizado para cocinar, iluminar, operar máquinas agrícolas, bombear agua o generar corriente eléctrica. Para obtener el biogás se utilizan varios sistemas, uno de ellos (el más generalizado) es el llamado Biodigestor de Metano.

Un Biodigestor es un generador de biogás, que permite producir en condiciones anaerobias (en ausencia de oxígeno) un gas similar al gas común de cocina, utilizando como materia base estiércol de animales, heces humanas, restos de plantas y verduras.

Este proceso de producción de biogás también permite que se forme un residuo o lodo, el cual posteriormente secado, se convierte en un abono orgánico de buena calidad, rico en nutrientes. (Fernández, et al. 2007).

La cantidad de biogás esperada de un digestor con una eficiencia razonable está relacionada con el contenido de sólidos volátiles. Funk, (2007) menciona que el estiércol de una vaca lechera tiene el potencial para generar alrededor de  $2,57 m^3$  de biogás. Por otro lado Pizarro, et al. (2006) mencionan que la producción de biogás es alrededor de  $2 m^3/vaca /día$ . En establos en México se ha reportado desde  $1,4$  a  $2,08 m^3/vaca/día$  por lo cual la producción puede depender de las condiciones particulares de cada lugar y cada establo.

**Tabla N° 1:** Composición del biogás

<b>Componentes</b>	<b>Fórmula química</b>	<b>Porcentajes %</b>
<b>Metano</b>	$CH_4$	60 – 70
<b>Gas carbónico</b>	$CO_2$	30 – 40
<b>Hidrógeno</b>	$H_2$	1
<b>Nitrógeno</b>	N	0,5
<b>Monóxido de carbono</b>	CO	0,1
<b>Oxígeno</b>	$O_2$	0,1
<b>Ácido sulfhídrico</b>	$H_2S$	0,1

Fuente: Castillos, 2011.

### **a. Beneficios de tecnologías del biogás**

El buen funcionamiento de los sistemas de biogás puede producir una amplia gama de beneficios para sus usuarios, la sociedad y el medio ambiente en general:

- Producción de energía (calor, luz, electricidad);
- Transforma los residuos orgánicos en abono de alta calidad;
- Mejora de las condiciones de higiene a través de la reducción de patógenos, huevos de gusanos y moscas.
- Reduce la carga de trabajo, principalmente para las mujeres, en la recolección de leña y la cocina.
- Ventajas medioambientales mediante la protección del suelo, agua, aire y la vegetación leñosa.
- Micro-beneficios económicos a través de la energía y la sustitución de los fertilizantes, adicionales.
- Fuentes de ingresos y aumentar los rendimientos de la ganadería y la agricultura.
- De macro-beneficios económicos a través de la generación de energía descentralizada, la importación de sustitución y protección del medio ambiente.

Así, el biogás generado en la fermentación de excretas de ganado vacuno, puede utilizarse en estufas convencionales adaptadas como una forma de energía sustentable para comunidades rurales. En base a esto, en el presente trabajo se generó y caracterizó el biogás en un biorreactor a partir de excretas de ganado vacuno, implementándolo como combustible alternativo en estufas convencionales adaptadas. (Villanueva, et al. 2011).

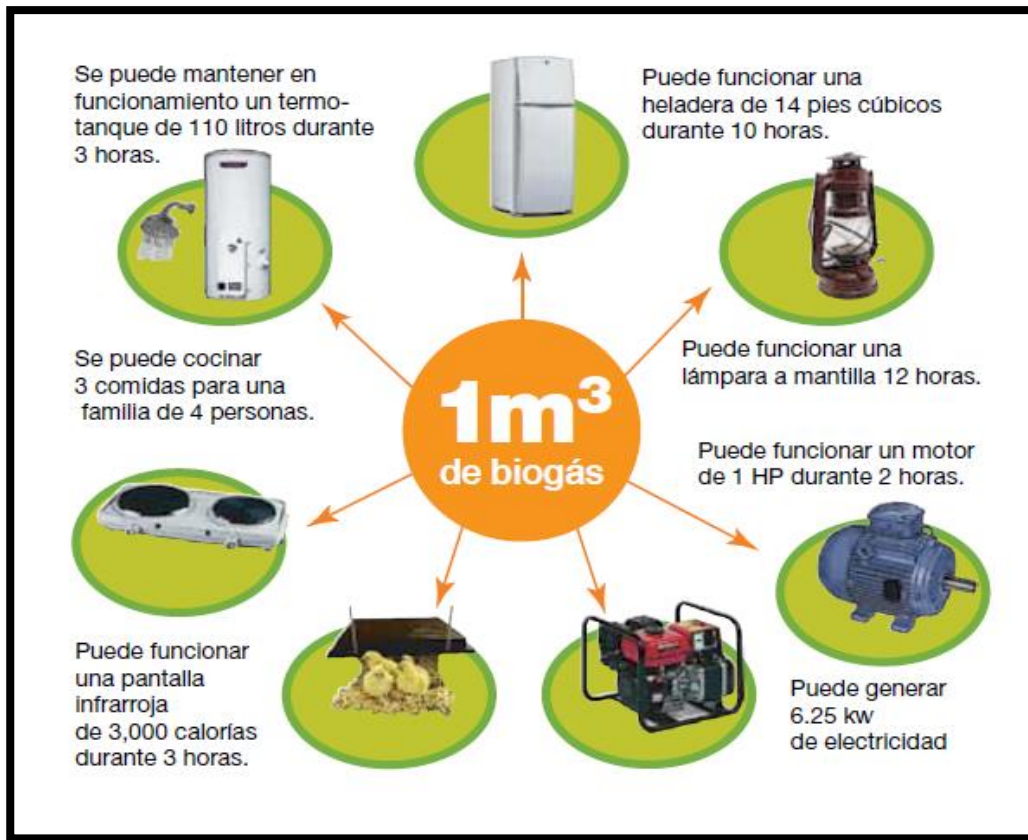
## **b. Usos del biogás:**

El volumen de biogás generado en estos sistemas determina la vía de aprovechamiento a elegir. En caso de volúmenes bajos, se opta por utilizarlo como carburante en una caldera para la obtención de energía térmica. No obstante, la más eficaz vía de aprovechamiento de biogás es la cogeneración, que permite la generación de energía eléctrica y al mismo tiempo la de energía térmica.

Estos porcentajes varían en función de los siguientes factores: la composición del residuo, la edad del vertido, la climatología y temperaturas ambientales.

El biogás es un combustible con un alto valor calórico (de 19,6 a 25 MJ/m<sup>3</sup>). Debido a esta característica, sus aplicaciones están destinadas a la generación de energía. Entre sus usos podemos mencionar:

- Generación de calor en calderas.
- Producción de iluminación en lámparas infrarrojas.
- Uso directo en termo tanques y refrigeradoras.
- Aplicación en quemadores (cocción de alimentos).
- Cogeneración de energía (pilas de combustibles).
- Como combustible en automóviles (modificando el motor).
- Purificarlo y añadir los aditivos necesarios para introducirlo en una red de transporte de gas natural. (Samayoa, et al. 2012)



**Figura N° 1:** Esquema de los usos del biogás

**Fuente:** Samayoa, Bueso y Víquez. 2012

### 2.2.2. Biomasa

La biomasa es el conjunto total de los organismos vivientes, animales y vegetales de una determinada región, considerados colectivamente, por lo tanto, energéticamente hablando, el concepto uso de biomasa es el aprovechamiento del colectivo de organismos vivos, caracterizado por poseer como base compuestos orgánicos reducidos con lo que se consigue un aporte energético orgánico y no fósil. Es decir, la biomasa es la energía que podemos obtener de la materia viva o masa.

### **2.2.3. Digestión Anaeróbica**

La digestión anaerobia es una de las soluciones para el tratamiento de los residuos orgánicos que permite aprovechar la biomasa como fuente de energía renovable. Se obtienen compuestos altamente energéticos que pueden ser utilizados para la obtención de energía calorífica, o energía eléctrica (Kaiser, et al. 2002).

La biodigestión anaeróbica es un proceso biológico mediante el cual la materia orgánica es transformada en ausencia de oxígeno y presencia de agua, obteniendo como subproducto una mezcla de gases llamado biogás y bioabono. Se genera de forma natural en lugares tales como: pantanos, campos de arroz y de forma artificial se produce en un dispositivo llamado biodigestor.

La digestión anaerobia o biodigestión, es una tecnología ampliamente difundida a escala familiar en países como China, India o Nepal. En estos sistemas los residuos orgánicos son convertidos en productos aprovechables como el biogás y el biol.

La digestión anaeróbica es un proceso biológico complejo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un substrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno o sus precursores. Utilizando el proceso de digestión anaeróbica es posible convertir gran cantidad de residuos, residuos vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa, de la industria papelera y de algunas industrias químicas, en subproductos útiles. En la digestión anaerobia más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aeróbico.

En la digestión anaeróbica, los microorganismos metanogénicos desempeñan la función de enzimas respiratorios y, junto con las bacterias no metanogénicas, constituyen una cadena alimentaria que guarda relación con las cadenas enzimáticas de células aeróbicas. De esta forma, los residuos orgánicos se transforman completamente en biogás que abandona el sistema. Sin embargo, el biogás generado suele estar contaminado con diferentes componentes, que pueden complicar el manejo y aprovechamiento del mismo.

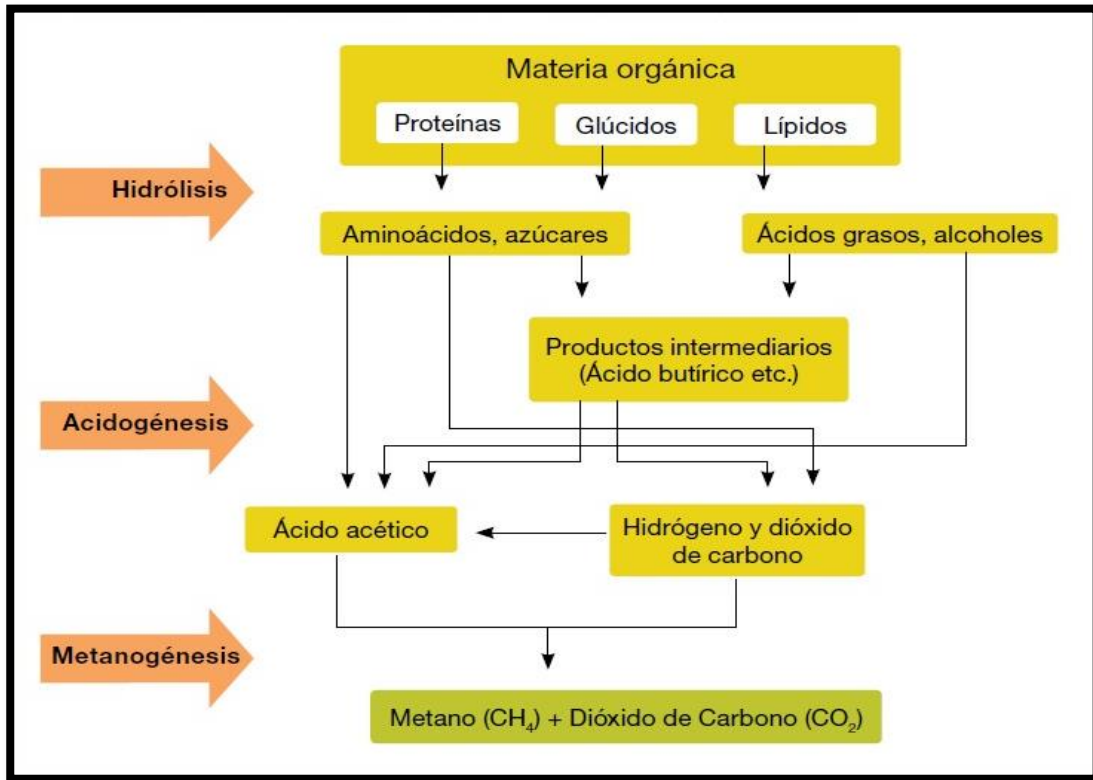
El proceso anaeróbico se clasifica como fermentación anaeróbica o respiración anaeróbica dependiendo del tipo de aceptores de electrones.

### **2.2.3.1. Etapas de la digestión anaerobia**

La naturaleza y la composición química del sustrato condicionan la composición cualitativa de la población bacteriana de cada etapa, de manera que se establece un equilibrio fácilmente alterable cuando algún tóxico no permite el desarrollo de alguna de las poblaciones. La baja tasa de multiplicación de las bacterias involucradas y las bajas tasas de conversión del sustrato en biomasa bacteriana, en comparación con los sistemas aerobios de eliminación de materia orgánica, se concluye que el proceso es en líneas generales, lento, necesitándose varias semanas, incluso meses depuesta en marcha, para conseguir un equilibrio estable (Tchobanoglous, et al. 1994).

La descomposición de la materia orgánica en el proceso de digestión anaerobia se divide en 3 etapas: hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis.

En cada una de las etapas de descomposición anaeróbica actúan distintas bacterias, estas transforman la materia orgánica en diferentes compuestos como azúcares, ácidos grasos, ácido acético, hasta llegar a un producto final como el metano. A continuación, se presenta un esquema del proceso.



**Figura N° 2:** Etapas de la digestión anaeróbica

**Fuente:** Samayoa, Bueso y Víquez. 2012

### a. Hidrólisis.

Esta es la etapa donde las proteínas, carbohidratos y grasas son transformados en compuestos solubles por acción de bacterias proteolíticas, celulíticas y lipolíticas, respectivamente. Esta etapa es fundamental para suministrar los compuestos orgánicos necesarios para la estabilización anaeróbica en forma que pueden ser utilizados por las bacterias responsables de las dos etapas siguientes.

### b. Acidogénesis.

Los compuestos solubles resultados de la primera etapa, son transformados por acción bacteriana en ácidos orgánicos simples volátiles, acetatos, amoniacos, hidrógeno y bióxido de carbono. Esta etapa la pueden llevar a cabo bacterias anaeróbicas o facultativas.



### **c. Metanogénesis.**

Finalmente mediante la acción de las bacterias metanogénicas, el hidrogeno y parte de los acetatos, son transformados en metano y bióxido de carbono. El amoniaco se estabiliza en forma de sales de amonio, permaneciendo en esta forma todo el contenido original de nitrógeno de la materia orgánica, que está sometido al proceso de biodegradación anaeróbica. El metabolismo de estas bacterias es más lento, y son más sensibles a distintas condiciones ambientales.

#### **2.2.3.2. Parámetros en el proceso de digestión anaerobia**

Para mantener un sistema anaerobio que establezca eficientemente un residuo y obtener la máxima producción de energía a partir de la conversión biológica, las bacterias metanogénicas y no metanogénicas deben estar en un estado de equilibrio dinámico, para establecer y mantener tal estado, los contenidos del reactor deben estar libres de oxígeno disuelto y de concentraciones inhibidoras de amoniaco libre y de constituyentes como metales pesados y sulfitos. (Martí, 2006).

##### **a. Temperatura**

Uno de los factores ambientales más importantes dentro del proceso de digestión anaerobia es la temperatura de operación de los biodigestores, además de ser considerado un parámetro principal para el diseño, debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de la digestión anaerobia. Las variaciones bruscas de temperatura dentro del digestor pueden provocar la desestabilización total del proceso, por tal motivo es indispensable un sistema adecuado de agitación y un sistema de control de temperatura.

Existen tres rangos de temperatura en los que se puede llevar a cabo la digestión anaerobia, los Psicófilos que se encuentran por debajo de los 25°C, los mesófilos (25 y 45°C) y termófilos (45 y 65°C). Las gamas de temperaturas óptimas son la mesofílica (30 a 38°C) y las termófilas (55 a 60°C) (Martí, 2002).

Se habían definido tres ambientes anaeróbicos, en función de la temperatura. Un adecuado funcionamiento del biodigestor para cada ambiente, recomienda los siguientes rangos de temperatura: 0 – 20°C, para el ambiente psicófilo; 20 – 45°C, para el ambiente mesófilo; y 45 – 97°C, para el ambiente termófilo. Las bacterias que crecen en cada uno de estos ambientes son organismos diferentes, se sugiere controlar la temperatura, para aumentar la eficiencia, usando serpentines de agua caliente dentro del digestor, con el objetivo de aumentar la temperatura del efluente.

## **b. pH y Alcalinidad**

Para que el proceso se desarrolle satisfactoriamente, el pH acuoso debería variar entre 6 y 8. El valor de pH en los digestores no sólo determina la producción de biogás si no también su composición, el descenso del pH por debajo de 6 genera un biogás muy pobre en metano y por consecuencia tiene menores cualidades energéticas.

Este parámetro determina la inhibición o toxicidad de las bacterias metanogénicas, ocurriendo esta patología cuando es inferior a 6,0. Un adecuado funcionamiento se presentará con un pH en el biodigestor entre 6,5 y 7,5 (Olaya, et al. 2009).

El pH afecta los diferentes equilibrios químicos existentes en el medio, generando un desplazamiento a la formación de un determinado componente que tenga una influencia en el proceso. En el caso del equilibrio ácido-base del amoníaco y del ácido acético, al aumentar el pH se favorece la formación de amoníaco, que en elevadas concentraciones inhibe el crecimiento microbiano y a pH bajos se genera la mayoritariamente la formación no ionizada del ácido acético, que inhibe el mecanismo de degradación del propionato (Martí, 2002).

## **c. Tiempo de retención**

El tiempo de retención depende del clima del lugar, para clima caliente con temperaturas promedio arriba de 28°C, de 20 a 30 días, para clima templado con temperaturas promedio arriba de 18°C y menores de 28°C, de 30 a 45 días y para clima frío con temperaturas promedio abajo de 18°C, de 45 a 60 días (o más).

Valores indicativos de tiempos de retención usualmente más utilizados en la digestión de estiércoles a temperatura mesofílica (tabla N°02). El límite mínimo de los T.R. está dado por la tasa de reproducción de las bacterias Metanogénicas debido a que la continua salida de efluente del digestor extrae una determinada cantidad de bacterias que se encuentran en el líquido. Esta extracción debe ser compensada por la multiplicación de las bacterias que pertenecen dentro del reactor (Carrasco, 2008).

**Tabla N° 2:** Valores indicativos de tiempos de retención

<b>Materia prima</b>	<b>T.R.H</b>
Estiércol vacuno líquido	20 - 30 días
Estiércol porcino líquido	15 - 25 días
Estiércol aviar líquido	20 - 40 días

**Fuente:** Carrasco, 2008

Por otro lado, el tiempo de retención es definido como el periodo de tiempo que permanece la materia orgánica dentro del sistema para alcanzar la degradación. El tiempo de retención está directamente relacionado con la temperatura ambiente y en condiciones óptimas del proceso, con una temperatura de 30°C, el tiempo de retención (Tr) debería ser de 20 días; sin embargo, algunos autores han sugerido para cada ambiente los respectivos tiempos de retención, que comúnmente se presentan en biodigestores, como se muestra en la tabla N°03 (Olaya, 2006), debido a la variación de la temperatura, la cual es difícil de controlar. Esta variación de temperatura afecta el tiempo de retención, el cual varía de acuerdo con el factor de corrección que puede ser determinado con la figura N°03.

**Tabla N° 3:** Tiempo de retención

<b>Ambiente</b>	<b>Tiempo de retención (días)</b>
<b>Psicrofílico</b>	> 40
<b>Mesofílico</b>	10 - 40
<b>Termofílico</b>	< 10

**Fuente:** Olaya, 2006

### **Intervalos de temperatura**

- **Organismos psicrofílico:** Un organismo cuya temperatura óptima de desarrollo se encuentra entre los 5°C y 15°C. Sinónimo de psicrofílico.
- **Organismo mesofílico:** Un organismo cuya temperatura óptima de desarrollo se encuentra entre los 15°C y 35°C. Sinónimo de mesofílico.

- **Organismo termofílico:** Un organismo cuya temperatura óptima de desarrollo está por encima de 45°C.

#### **d. Relación C/N:**

La relación C/N influye sobre la producción de biogás, siendo la relación adecuada entre 20:1 y 30:1 (Olaya, 2006).

#### **e. Amoníaco:**

Para un correcto funcionamiento del biodigestor, los niveles dentro del sistema deben mantenerse por debajo de los 2000 mg/l.

#### **f. Velocidad de carga orgánica**

La velocidad de carga orgánica (VCO) es la cantidad de materia orgánica introducida en el reactor por unidad de tiempo y volumen, siendo directamente dependiente de la concentración de sustrato y tiempo de retención fijado. En ausencia de inhibidores, la existencia de altas cargas orgánicas proporciona altas producciones de biogás, sin embargo, puede aumentar el riesgo de sobrecargas que conlleven a la acidificación del proceso. (Martí, 2006).

#### **g. Agitación en el reactor**

- Pone en contacto el sustrato fresco con la población bacteriana y eliminar los metabolitos producidos por los microorganismos Metanogénicos al favorecer la salida de los gases.
- Proporciona una densidad uniforme de la población bacteriana al interior del reactor.
- Previene la formación de espuma y la sedimentación en el reactor.
- Previene la formación de espacios muertos que reducirían el volumen efectivo del reactor y la formación de caminos preferenciales.
- Elimina la estratificación térmica, manteniendo una temperatura uniforme en todo el reactor.

- El sistema de agitación puede ser mecánico, hidráulico y neumático, la velocidad de agitación debe ser suficientemente fuerte para asegurar la homogenización pero sin romper los agregados bacterianos.

El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno, sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel). Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en proporciones adecuadas. Sin embargo, en la digestión de ciertos desechos industriales puede presentarse el caso de ser necesaria la adición de los compuestos enumerados o bien un post tratamiento aeróbico. En lo atinente a estiércoles animales la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación de los mismos.

#### **h. Relación estiércol - agua**

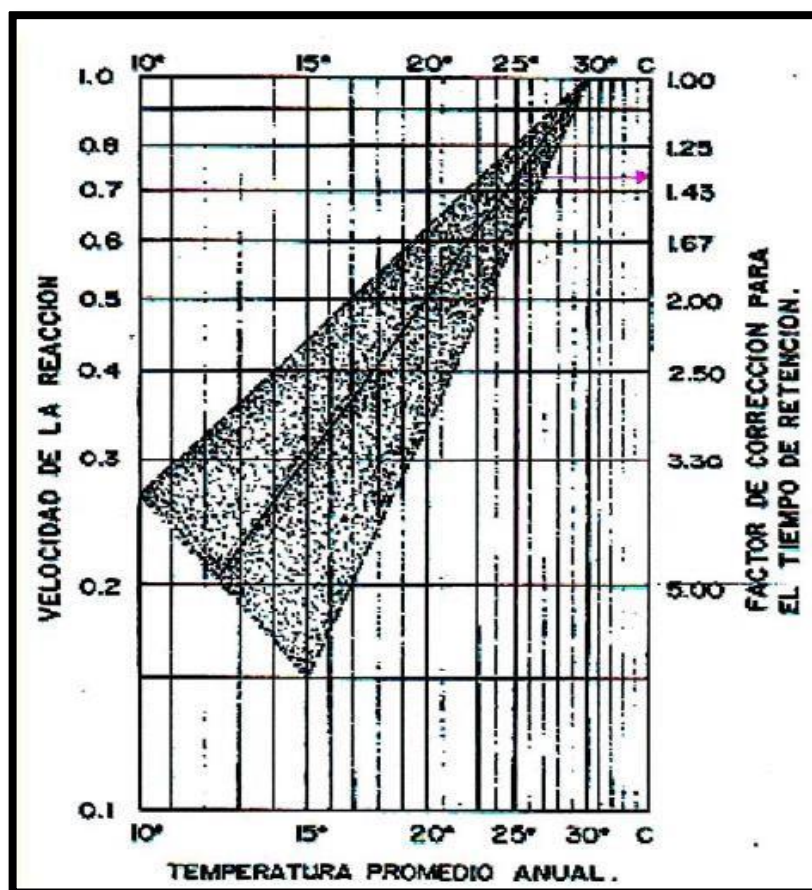
La relación estiércol - agua es muy importante para la degradación anaeróbica, pues determina el grado de humedad dentro del biodigestor. La materia prima que se utiliza para el proceso debe ser el estiércol fresco producido en el corral, determinando así la relación 1:1 con que trabajara cada uno de los biodigestores. Esta relación indica que ingresa al biodigestor la misma cantidad de agua y de excremento, el cual se degradara en un tiempo estimado de 40 días.

**Tabla N° 4:** Relación estiércol – agua

<b>N°</b>	<b>Origen</b>	<b>Relación</b>
<b>1</b>	Bovino Fresco	1: 1
<b>2</b>	Bovino Seco	1: 2
<b>3</b>	Porcino	1: 2
<b>4</b>	Aves	1: 1
<b>5</b>	Equino	1: 2
<b>6</b>	Desechos humanos	1: 1
<b>7</b>	Desechos vegetales	1: 0,5 – 2

**Fuente:** Carrasco, 2008.

Las bacterias y otros microorganismos no pueden funcionar efectivamente cuando el contenido de agua de la mezcla es demasiado bajo, y la cantidad de biogás producido será pequeña. Cuando la mezcla es demasiado diluida, se puede digerir relativamente poca materia orgánica y la producción del biogás es limitada. El uso primordialmente de excreta humana y orines, estiércol, y desechos de agricultura, como alimento para el digestor, deberá conllevar a una razón de biomasa a agua entre 1:1 y 1:2; y por cada 100 kg de heces y orina, se requerirán entre 100 y 200 litros de agua. Cuando el material de alimento consta principalmente de residuos vegetales, se requiere más agua, en una razón de 1:3 o 1:4. La actividad de mezclar, debe realizarse en forma adecuada y uniforme en el tanque del digestor para promover una digestión efectiva, especialmente si se utiliza biomasa cruda con alto contenido leñoso (Olaya, et al. 2009).



**Figura N° 3:** Influencia de la temperatura sobre el tiempo de retención

**Fuente:** (Olaya, et al. 2009)

#### **2.2.4. Generación de energía eléctrica a partir de biogás**

El biogás procedente de una planta de biogeneración es el combustible que utiliza una turbina para producir energía eléctrica. Previamente, hay que acondicionar este gas a la unidad de tratamiento de gas específica para las características técnicas de la turbina, donde se realizan los siguientes procesos: limpieza de compuestos de ácido sulfhídrico y la regulación de la presión del biogás a la presión de trabajo para la turbina.

En el interior de la turbina se produce la combustión del biogás, que se convierte en energía eléctrica. Las turbinas a biogás son ampliamente utilizadas para la generación distribuida, y en aplicaciones que requieren calor y electricidad simultáneamente. Abarcan desde unidades pequeñas como las que producen menos de un kilo Watt por Hora (kWh), hasta unidades comerciales que producen centenares de kW-h. Parte de su éxito se debe a las aplicaciones electrónicas, que permiten una operación telemática y su acoplamiento a la red eléctrica.

Desde el año 1997, el Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV), con sede en Colombia, inició un proyecto sobre la utilización del biogás para la generación eléctrica, al reemplazar parcialmente el combustible fósil por biogás en motores con generadores de energía eléctrica, mediante el uso de biogás producido en biodigestores plásticos tubulares como combustible para esos motores (Murillo, 2007). El potencial del biogás se encuentra en el CH<sub>4</sub> que posee, ya que éste ocupa entre un 50% y un 70% en la composición total del biogás.

#### **2.2.5. Biodigestor**

Un biodigestor es un contenedor cerrado, hermético e impermeable, dentro del cual se coloca el material orgánico, en relaciones de estiércol-agua, y tiempos de retenciones para la degradación anaerobia, generando gas metano y fertilizantes, disminuyendo el potencial contaminante de los excrementos. Puede ser construido con diversos materiales como ladrillo, cemento, metal, plásticos, etc.

## a. Tipos de Biodigestores

**Tabla N° 5:** Tipos de biodigestores

<b>Tipos de biodigestores</b>	<b>Biodigestor continuo</b>	<b>Biodigestor discontinuo</b>	<b>Biodigestor semi - continuo</b>
<b>Características</b>	-Tiene tres orificios; uno central que es cerrado después de hacer la carga inicial y es abierto después para limpiar el biodigestor (descarga total); un segundo orificio se usa para cargarlo diariamente en cantidades pequeñas con biomasa nueva; y un tercer orificio el cual permite sacar el bioabono.	-Este biodigestor tiene solamente un acceso por donde se carga y se descarga.  -Se carga una sola vez para ser llenado y posteriormente usado; la fermentación demora entre 2 y 4 meses (dependiendo del clima) y se descarga cuando concluye la fermentación.	-Es el tipo de digestor más usado en el medio rural. -Estos biodigestores son alimentados diariamente con una carga relativamente pequeña en comparación al contenido total; ésta se deposita en la cámara de carga.
<b>Ventajas</b>	-Se puede controlar la digestión que es requerida por medio de la cantidad de biomasa depositada diariamente. -La carga y descarga del biodigestor no requiere de operaciones especializadas. -El diseño de este biodigestor es favorable para que sea llenado con materiales blandos como el estiércol.	-Procesa gran cantidad de materiales y puede recogerse en campos abiertos sin importar si tiene materia seca pues esto no entorpece su descomposición. -Puede llenarse con materiales secos que no absorben humedad (que floten en el agua) así como pasto, cascara de frutas y desechos de alimentos. -Se pueden manejar las variables relacionadas con la fermentación como la de la temperatura, tiempo de retención, carga depositada, etc.	-Por lo general requieren de menos mano de obra.  -Este tipo de digestores presenta una buena eficiencia de producción de biogás, generándose entre 0,5 a 1 volumen de gas por volumen de digestor, y aún más.
<b>Desventajas</b>	-Una baja concentración de sólidos que se pueden depositar adentro. -No posee un buen diseño para tratar materiales que son más pesados que el agua.	-Cargar el biodigestor requiere de mucho trabajo y paciencia. -La descarga del biodigestor también es un trabajo muy tedioso.	- Mayormente son de uso doméstico. -Son de menor escala

**Fuente:** Varnero, 2011



Los biodigestores o plantas de biogás sencillos se clasifican en tres tipos principales, descritos a continuación (Olaya, et al. 2009):

La planta con cúpula o campana flotante: La planta de campana flotante, mostrada esquemáticamente en la figura N°04, se compone de un digestor construido en mampostería o estructura de concreto y un depósito de gas móvil en forma de campana, la cual puede flotar directamente en la masa de fermentación o en un anillo de agua, dependiendo de la producción de biogás. La campana debe tener una guía que permita el movimiento vertical, cuya altura dependerá del volumen de gas almacenado. Es conocido también como biodigestor Indio, y puede ser utilizado cuando se necesita de un abastecimiento continuo de biogás y fertilizante, caracterizándose por funcionar como depósito del gas producido, es decir, es el único tipo de biodigestores que tienen un depósito de biogás interior.

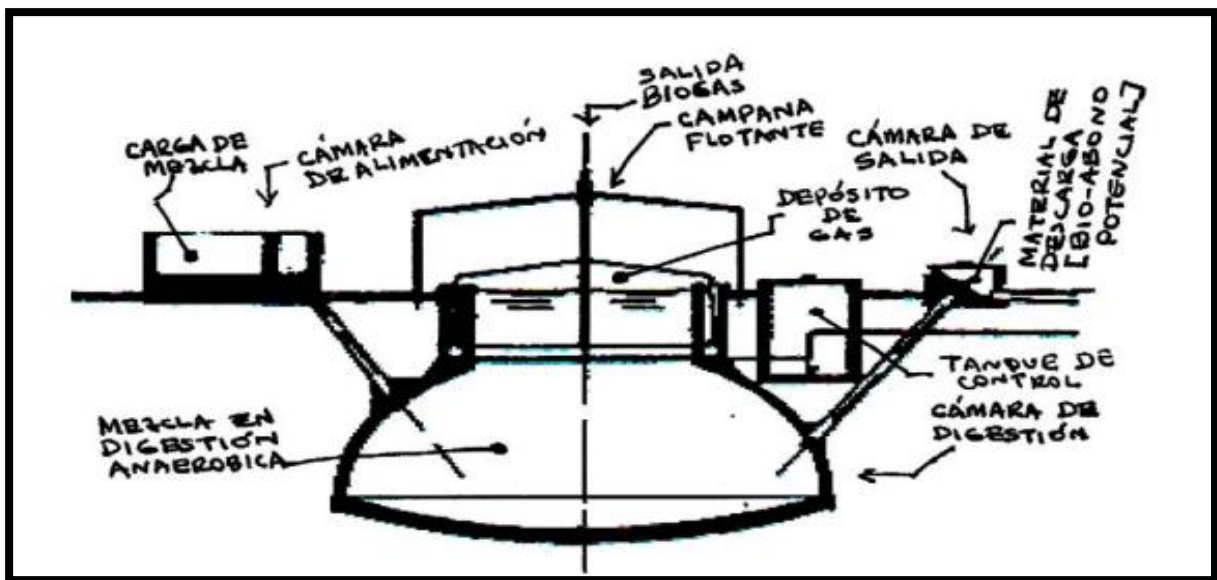


Figura N° 4: Esquema de una planta de campana flotante (tipo hindú)

Fuente: Olaya, et al. 2009).

Sus ventajas son: la mampostería tiene una larga vida útil, en caso de usar estructuras de concreto, deberá protegerse este material a la corrosión producida por la materia orgánica y el gas; la presión de gas es constante; y es de fácil manejo. Entre las desventajas están el alto costo en la construcción de la campana; en la mayoría de los casos, la campana es metálica y estará sujeta a corrosión, cuya protección a esta acción incrementa el costo y requiere un mantenimiento periódico de la campana, incrementando los costos de operación.

**- La planta con cúpula o campana fija:** Mostrada esquemáticamente en la figura N°05, se compone de un digestor construido en mampostería y un domo fijo e inmóvil cerrado donde se almacena el biogás. Durante la producción de biogás, la masa de fermentación es desplazada hacia el tanque de compensación y cuando se extrae el gas, la masa líquida vuelve hacia el biodigestor. A través de constantes oscilaciones de la masa de fermentación en la parte superior de la cúpula se evita la formación de capa flotante. Es conocido también como biodigestor Chino, y debido a que el gas debe ser liberado continuamente para reducir la presión interna, se utilizan en instalaciones donde el consumo sea continuo o para almacenar el biogás en un depósito aparte (Olaya, et al. 2009).

Entre sus ventajas se tiene una larga vida útil de aproximadamente 20 años; no posee partes móviles y/o metálicas que se puedan oxidar, aunque la construcción en concreto deberá ser durable; y su construcción es subterránea, que lo protege contra bajas temperaturas. Entre sus desventajas se encuentran que la presión de gas no es constante; la presión puede ser muy alta, por ello la cúpula tiene que ser cuidadosamente sellada e impermeabilizada para evitar porosidades, grietas y escapes de gas; y presenta costos de construcción más bajos que el anterior biodigestor.

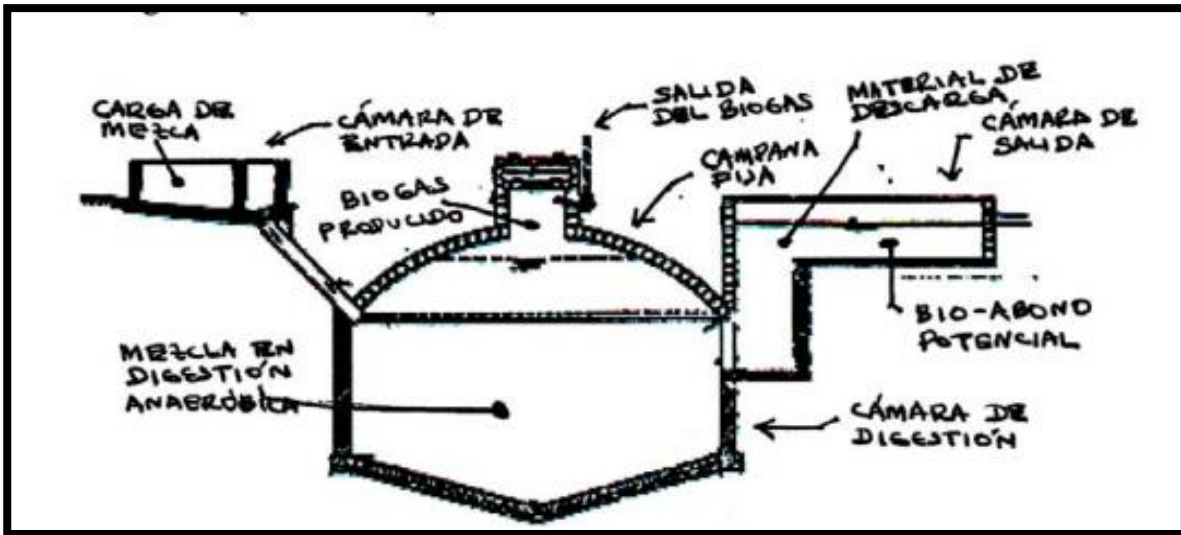


Figura N° 5: Esquema de una planta de cúpula fija

Fuente: (Olaya, et al. 2009).

- **La planta balón o biodigestor tubular:** La planta de balón se compone de un tubular en material plástico (polietileno, PVC, plastilina, entre otros, y una combinación de éstos) completamente sellado, la entrada y la salida están sujetas directamente a las paredes de la planta. La figura N°06, muestra un esquema de esta tipología. La parte inferior de la planta, en un 75% del volumen constituye la masa de fermentación, y en la parte superior, el 25% restante, se almacena el biogás. Este tipo de planta se recomienda para aquellos sitios donde predominan las temperaturas altas y constantes (Olaya, et al. 2009).

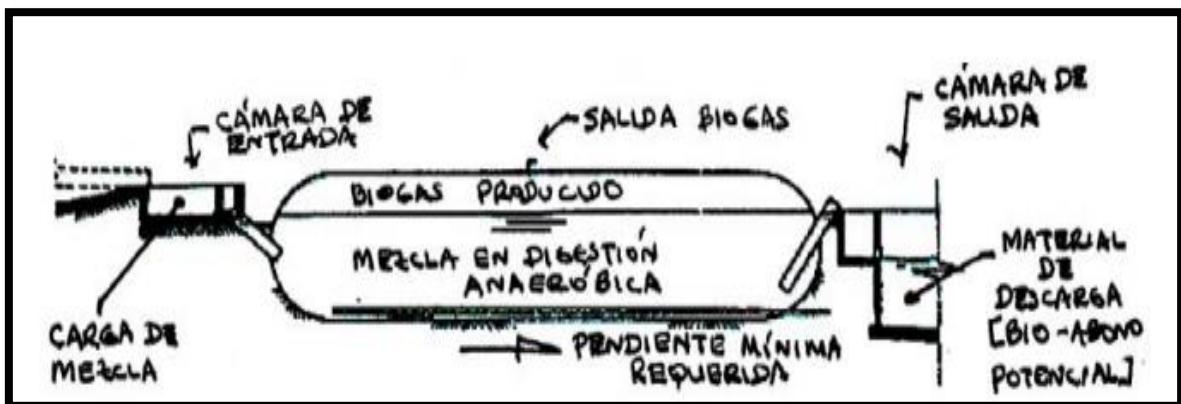


Figura N° 6: Esquema de una planta de balón plástico.

Fuente: (Olaya, et al. 2009).

Entre sus ventajas, están sus materiales de construcción son de fácil transporte; su instalación y adecuación del sitio son sencillas; es apropiado en sitios con nivel freático alto, por su construcción horizontal; y entre los tipos de biodigestores, es el menor costo de construcción y operación; como se muestra en la figura N°06, pueden ser instalados por la comunidad beneficiada, sin que ésta tenga conocimientos sobre construcción. Son desventajas, la baja presión de gas; una vida útil corta, entre 3 y 8 años, dependiendo del material que se seleccione; debe protegerse contra los rayos solares; y el material plástico está sujeto a daños, siendo necesario en lo posible encerrarse el área adyacente al biodigestor.

#### **a. Uso de digestores anaeróbicos en los establos lecheros para la producción de biogás**

El uso de digestores anaeróbicos en los establos lecheros para la producción de energía ha mostrado una continua aceleración en los últimos tiempos. La digestión anaeróbica es un proceso biológico en el cual se convierte los desechos del ganado en “biogás” en un medio libre de oxígeno. El proceso de digestión anaeróbica puede ser replicado y optimizado en un proceso de ingeniería usando estiércol como materia prima. El biogás producido por la digestión anaeróbica típicamente está compuesto por metano (55 a 65%), dióxido de carbono (35 a 45%) y trazas de amonio y sulfuro de hidrógeno. El biogás puede ser usado para generar calor y energía eléctrica. Un digestor de estiércol puede redituar económicamente, así como proporcionar beneficios ambientales.

La digestión anaeróbica no es por sí misma una práctica de control de la contaminación, pero reduce considerablemente los malos olores y captura gases invernadero (Rivas, et al. 2012).

Dentro de los gases invernadero, el metano es importante ya que tiene un potencial de calentamiento global 25 veces más que el CO. El metano contribuye aproximadamente con el 220% del efecto del calentamiento global causado por actividades humanas. Los desechos animales y los vertederos representan > 10% de las emisiones de metano debido a las condiciones anaeróbicas (Rivas, et al. 2012).

#### **c. Costos de los digestores anaeróbicos**

El costo de los digestores anaeróbicos para la producción y utilización de biogás variará con el tipo y tamaño del sistema, tipo de operación ganadera y condiciones específicas del sitio. El tipo de digestor acorde a cada situación debe ser cuidadosamente escogido tomando en consideración el aspecto económico, la

complejidad de operación, la forma en que se van a recuperar los desechos y las condiciones climáticas de la región (Rivas, et al. 2012).

### **2.2.6. Estiércol de ganado vacuno**

Según ABT (BUSINESS GROUP) España – Respaldada por la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y Comercio Electrónico. Una vaca lechera produce 30 a 70 kg de estiércol por día. Una planta de Biogás será económicamente viable para las explotaciones con al menos 300-400 cabezas de vacas lecheras.

Es una mezcla de materia fecal y alimento rechazado, procedente del tracto digestivo de los animales, contienen residuos no digeridos de alimentos, y factores digestivos como enzimas, jugos gástricos, pancreáticos y células muertas de la mucosa intestinal, bacterias vivas y muertas del colon y productos del desecho del metabolismo.

El estiércol es el excremento de animales de ganadería, el cual se compone de una mezcla de material orgánico digerido y orina, que es utilizada para fertilizar el suelo.

La aplicación del estiércol en el suelo permite el aporte de nutrientes, incrementa la retención de la humedad, y mejora la actividad biológica, con lo cual se incrementa la fertilidad del suelo y por ende su productividad.

#### **a. Composición del estiércol.**

El estiércol no es un abono de composición fija. Esta depende de la edad de los animales de que se procede, de la especie, de la alimentación a que están sometidas, trabajo que realizan, aptitud, naturaleza y composición de camas, etc. Un animal joven consume mayor cantidad de nitrógeno y fósforo que un animal viejo; las deyecciones que de aquel proceden contienen, pues, menor cantidad de esos elementos. Los animales viejos habiendo cesado de crecer, asimilan los alimentos únicamente las cantidades necesarias para cubrir las pérdidas y dan estiércoles más ricos en elementos fertilizantes.

Las diversas especies animales producen excremento de composición química diferente. Resulta que los orines del ganado abundan en nitrógeno (N) y, sobre todo en potasa (K), y en cambio apenas contienen ácido fosfórico, que se encuentra todo en las deyecciones sólidas.

**Tabla N° 6:** Composición química del estiércol fresco y seco

Especie animal	Materia seca %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O%	CaO %	MgO %	SO <sub>4</sub> %
Vacunos (f)	6	2,29	0,17	0,1	0,35	0,13	0,04
Vacunos (s)	16	0,58	0,01	0,49	0,01	0,01	0,13
Ovino (f)	13	0,55	0,01	0,15	0,46	0,15	0,16
Ovino (s)	35	1,95	0,31	1,26	1,16	0,34	0,34
Equino (f)	10	0,55	0,01	0,35	0,15	0,12	0,02
Equino (s)	24	1,55	0,35	1,50	0,45	0,24	0,06
Porcino (s)	18	0,60	0,61	0,26	0,09	0,10	0,04
Camélido (s)	37	3,60	1,12	1,2	S.I	S.I	S.I
Cuyes (f)	14	0,60	0,03	0,18	0,55	0,18	0,1
Gallina (s)	47	6,11	5,21	3,2	S.I	S.I	S.I. (f)
<b>(f) Fresco, (s) Seco, (S.I) Sin información</b>							

Fuente: SEPAR, 2004.

### c. Parámetros físico químicos.

Para determinar el contenido de la materia orgánica en las excretas de los animales objetos de estudio, unos de los principales parámetros físico-químicos se encuentran determinados por la DBO y la DQO. La DQO es la cantidad, en mg, de oxígeno requerido para la oxidación, mediante un oxidante fuerte, de las sustancias reductoras presentes en un litro de muestra de material de desperdicio o excreta en este caso de vacuno o porcino. El cambio de valores de la DQO antes y después del proceso en el que intervienen las bacterias en el proceso de degradación, puede indicar la eficiencia en el proceso de digestión anaerobia.

Por otra parte, la DBO representa la cantidad demandada de oxígeno en mg/l para la descomposición de sustancias orgánicas, a través de microbios aeróbicos. El valor de la DBO también puede sugerir cuál método puede ser el más conveniente para el tratamiento de un residual dado.

**Tabla N° 7:** Concentración media de algunos parámetros de los purines de vacuno

<b>Parámetros</b>	<b>Concentración</b>
<b>Materia seca</b>	7, 00 %
<i>DBO<sub>5</sub></i>	15 000 mg/L
<b>DQO</b>	60 000 mg/L
<b>N T K</b>	4 500 mg/L
<b>Fósforo P<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	1 700 mg/L
<b>Potasio K<sub>2</sub>O</b>	5 800 mg/L

Fuente: Expósito, 2010.

**Tabla N° 8:** Parámetros físico-químicos de las aguas residuales

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Temperatura °C</b>	20
<b>pH</b>	6,0 - 8,0
<b>Alcalinidad total mg CaCO<sub>3</sub>/l</b>	240
<b>Ácidos total mg CaCO<sub>3</sub>/l</b>	30
<b>Sólidos sedimentables</b>	38,0 - 40,0
<b>Sólidos no sedimentables</b>	376
<b>Sólidos suspendidos m/l</b>	570
<b>Sólidos volátiles</b>	3 066
<b>Sólidos fijos totales</b>	< 516
<b>Conductividad</b>	-650
<b>Oxígeno disuelto</b>	3,1
<b>DQO, mg/l</b>	3 400 - 7 000
<b>DBO<sub>5</sub> mg/l (5d/20°C)0</b>	1 800 - 4 000
<b>Fosfatos</b>	40
<b>N amoniac mg/l</b>	8,8
<b>N orgánico</b>	23,8
<b>N Nítricos, mg/l</b>	0,02
<b>Grasas y aceites mg/l</b>	1 200 - 2 000

Fuente: Guía ambiental para las plantas de beneficio del ganado, 2002.

#### **d. Usos potenciales del estiércol.**

El potencial uso del estiércol durante varias generaciones agropecuarias, ha sido la elaboración del compost, esta práctica permite obtener un producto libre de gérmenes patógenos, contrarrestando malos olores, y produciendo sustancias húmicas similares a las del suelo, facilitando la fertilización de los cultivos.

El estiércol no solamente puede ser utilizado para la elaboración de compost, sino también para la producción de biogás y fertilizantes líquidos, sometiéndolo a una degradación en condiciones anaerobias, el biogás producido tiene un alto contenido de metano altamente inflamable, la cual, con instalaciones adecuadas, se puede producir energía eléctrica y a su vez ser utilizado en la cocina doméstica.

Además, se está probando la elaboración de raciones alimentarias para el ganado vacuno, debido a la significativa cantidad de proteínas que poseen. Por lo cual es primordial efectuar un acondicionamiento o tratamiento previo de las excretas para lograr con el objetivo.



### **III. RESULTADOS**

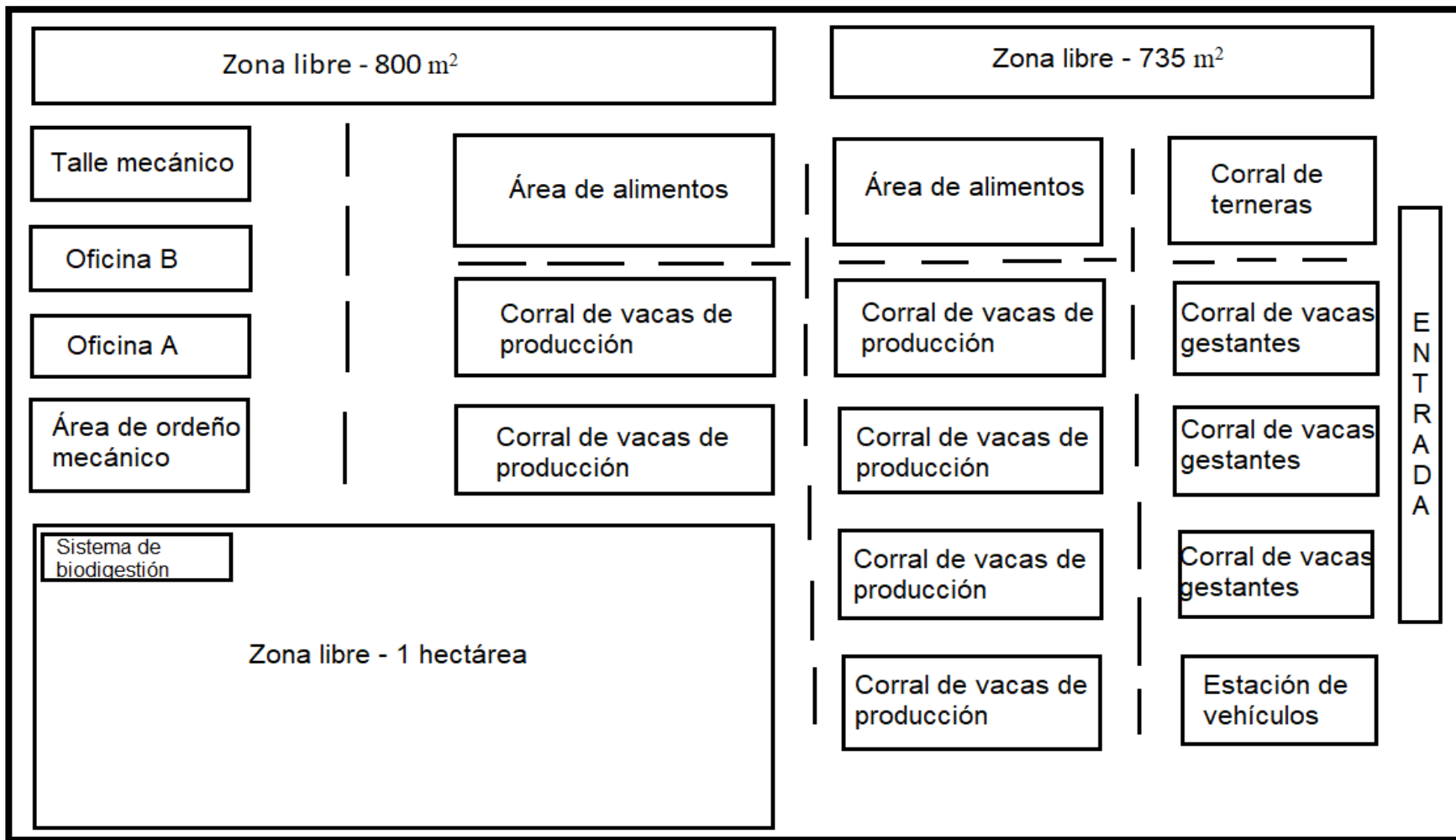
#### **3.1. Disponibilidad y características de las excretas bovinas en el establo Monteverde.**

##### **3.1.1. Descripción del establo Monteverde**

Se ubica en la avenida La Alameda en la localidad de Jequetepeque, departamento de la Libertad; tiene un área de 5 hectáreas en donde se mantiene al ganado. Es una empresa dedicada a la producción y venta directa de leche fresca, donde el ordeño de las vacas se da 2 veces al día 4 a.m. y 4 p.m.; cuenta con una máquina de ordeño “Watfalla” con 32 unidades, 16 unidades por cada lado (izquierda y derecha). Todo el excremento producido por el ganado bovino es desechado hacia unos canales o vendido, perdiendo una fuente muy importante y valiosa para la producción de biogás y generación de energía limpia.

La empresa cuenta con un total 2200 cabezas de ganado lechero de las razas Holstein de 650 kg y Brown Swiss de 700 kg entre vacas de producción, terneras de 260 kg que están en el área de criadero y vacas gestantes de 705 kg. El establo tiene como socio a la fábrica de yogurt Yoleit, donde abastece con leche fresca para la producción de yogurt.

En la figura N°07 y 08 se presenta el esquema y el mapa del establo Monteverde para tener una idea detallada tanto de sus áreas como de su ubicación geográfica.



**Figura N° 7:** Esquema del estable Monteverde

Elaboración propia



**Figura N° 8:** Mapa de la ubicación geográfica del establo Monteverde.

**Fuente:** Google Maps

### **3.1.2. Disponibilidad de las excretas bovinas:**

**Estimación de la posible carga orgánica o biomasa:** Se hizo un muestreo por conveniencia o también conocido como selección intencionada, método no probabilístico que consiste en seleccionar a los individuos que convienen al investigador para la muestra bajo su criterio y utilidad de la investigación. (Creswell, 2008). Para este caso el criterio de conveniencia utilizado fue la disponibilidad y proximidad del ganado en el horario establecido por el gerente del establo. Se seleccionaron dos vacas de producción, dos terneras y dos vacas gestantes.

Para estimar el peso de las excretas del ganado bovino, se encerraron las vacas seleccionadas en tres corrales diferentes; teniendo como resultado que dos vacas adultas en producción eliminan entre 30 a 40 kg de estiércol al día; dos terneras eliminan entre 15 a 20 kg de estiércol al día y dos vacas gestantes entre 40 a 45 kg de estiércol al día, estos datos se asemejan a los resultados obtenidos por Arellano, et al. (2014) en su trabajo de investigación “El estiércol, material y desecho, de provecho y algo más”.

Las vacas adultas tienen un peso promedio de 675 kg entre la raza Holstein y la raza Brost, las terneras oscilan entre 260 kg y las vacas gestantes 720 kg. La producción diaria de estiércol total es de 75 125 kg/día presentada en la tabla N°09.

**Tabla N° 9:** Estimación de la posible carga orgánica (representada en la producción diaria de estiércol)

<b>Ganado</b>	<b>Cantidad de ganado (Q)</b>	<b>Peso vivo promedio (kg)</b>	<b>Peso de estiércol al día (kg)</b>	<b>Peso promedio de estiércol al día (PPE) (kg)</b>	<b>Estiércol al día (kg) TE=Q x PPE</b>
<b>Vacas en producción</b> (3 – 7 años)	1 950	675	30 – 40	35	68 250
<b>Terneras</b> (1 mes – 2 años)	150	260	15 – 20	17,5	2 625
<b>Vacas gestantes</b> (3 – 7 años)	100	720	40 – 45	42,5	4 250
				Total de estiércol diario (kg/día)	<b>75 125</b>

**Fuente:** Establo Monteverde

### **3.1.3. Características de las excretas bovinas:**

Para determinar los parámetros físico-químico de las excretas del ganado bovino, se enviaron las muestras al Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), en la ciudad de Lima (ver anexo 5), bajo las siguientes condiciones:

- Dos litros y medio de muestra en botellas de vidrio para los parámetros a analizar.
- Rotular correctamente con la identificación correspondiente a cada muestra.
- Deben ser enviadas en un cooler o caja de tecnopor con refrigeración no menor a 4°C, antes de las 48 horas.
- Las muestras de excretas bovinas deben ingresar a las instalaciones los días miércoles o jueves.
- La entrega de resultados serán al cabo de 7 días hábiles.

Además, estas excretas fueron diluidas en agua para su posterior análisis según la relación estiércol – agua, donde nos indica que para un kilogramo de estiércol fresco se necesita un litro de agua (Carrasco, 2008).

En la tabla N°10 se muestra los parámetros físico-químico más importantes presentes en las excretas bovinas realizado en los laboratorios de la UNALM como el pH, sólidos suspendidos, DBO, DQO, fósforo y nitrógeno (ver anexo 4), y además en la tabla N°11 se evidencia otros parámetros con autores diferentes para realizar una comparación de las muestras.

**Tabla N° 10:** Parámetros físico-químico de las excretas bovinas

<b>Parámetros</b>	<b>Valores</b>
<b>pH</b>	8,20
<b>Sólidos suspendidos mg/l</b>	132 500
<b>Nitrógeno mg/l</b>	1 121,40
<b>Fosforo mg/l</b>	506,45
<b>DBO mgO<sub>2</sub>/l</b>	7 000
<b>DQO mgO<sub>2</sub>/l</b>	15 864,41

**Fuente:** Universidad Nacional Agraria La Molina

**Tabla N° 11:** Resultados y comparación de parámetros físico-químico en otras investigaciones

Parámetros	Valores		Valores	
	UNALM			
<b>pH</b>	UNALM	8,20	Varnero, 2011	7,8 - 8,2
<b>Sólidos suspendidos mg/l</b>	UNALM	132 500	Expósito, 2010	130 000 - 142 500
<b>Nitrógeno mg/l</b>	UNALM	1 121,40	Quipuzco, et al. 2011	1 094 - 3 500
<b>Fósforo mg/l</b>	UNALM	506, 45	Quipuzco, et al. 2011	225 - 1 200
<b>DBO mgO<sub>2</sub>/l</b>	UNALM	7 000	Expósito, 2010	6 000 - 15 000
<b>DOQ mgO<sub>2</sub>/l</b>	UNALM	15 864,41	Expósito, 2010	14 000 - 32 000

- El pH es uno de los parámetros de control más importantes en la operación de los biodigestores debido a que los microorganismos metanogénicos presentan una gran sensibilidad a las variaciones del mismo.

Los resultados de pH obtenidos de las excretas fue de 8,20 presentando un nivel de actividad ideal en torno a la neutralidad para la etapa de metanogénesis, ya que el hidrógeno y parte de los acetatos son transformados en metano y dióxido de carbono, valores que se asemejan con los resultados obtenidos por Varnero (2011).

- El parámetro de sólidos suspendidos obtenido fue de 132 500 mg/l lo que indica la cantidad de sólidos presentes en suspensión y que pueden ser separados por medios mecánicos, como por ejemplo la filtración en vacío, o la centrifugación del líquido y algunas veces se asocia a la turbidez del agua; valores que se asemejan con los resultados obtenidos por Expósito (2010).
- Los resultados obtenidos de nitrógeno fue de 1 121,40 mg/l y del fósforo de 506,45 mg/l, ya que sin estos nutrientes no se puede dar la digestión anaeróbica, puesto que son esenciales para el crecimiento bacteriano, así como otros en cantidades más pequeñas. La falta de nutrientes específicos, necesarios para el crecimiento bacteriano, restringirá la producción de biogás. Entre los macro nutrientes, el nitrógeno desempeña un papel especialmente importante en la formación de proteínas. No obstante, el exceso de este

elemento puede causar toxicidad del sustrato produciendo amoníaco, valores que se asemejan con los resultados obtenidos por Quipuzco, et al. (2011).

- El valor obtenido de la demanda biológica de oxígeno (DBO) fue de 7 000 mg/l, lo que significa que es la cantidad que se requiere de oxígeno para la descomposición de sustancias orgánicas, a través de microbios aeróbicos. Además, la DBO es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida, valores que se asemejan a los resultados obtenidos por Expósito (2010).
- El parámetro de la demanda química de oxígeno (DQO) fue de 15 864,41 mg/l, ya que es un excelente parámetro para la estimación de producción de metano. Además, es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mg O<sub>2</sub>/l), valores que se asemejan a los resultados obtenidos por Expósito (2010).

### 3.2. Demanda de consumo de energía en el área de ordeño mecánico.

#### 3.2.1. Consumo de energía en el área de ordeño mecánico:

Con los datos obtenidos del consumo de energía eléctrica (kWh) en los últimos 12 meses por el establo Monteverde; se obtuvo información de cuánto varía por cada mes el consumo de energía eléctrica en el área de ordeño mecánico, teniendo un promedio de 8 018 kWh al mes que se genera en dicha área, esta información se presenta a continuación en la tabla:

**Tabla N° 12:** Consumo de energía eléctrica en el área de ordeño mecánico

<b>Meses del año</b>	<b>Consumo de energía en horas (kWh)</b>	<b>Consumo de energía al día (kWh)</b>	<b>Consumo de energía al mes (kWh)</b>
<b>Septiembre 2016</b>	11,11	266,67	8 000
<b>Octubre 2016</b>	11,12	266,83	8 005
<b>Noviembre 2016</b>	11,11	266,67	8 000
<b>Diciembre 2016</b>	11,13	267,00	8 010
<b>Enero 2016</b>	11,12	266,73	8 002
<b>Febrero 2017</b>	11,12	266,90	8 007
<b>Marzo 2107</b>	11,17	268,17	8 045
<b>Abril 2017</b>	11,16	267,77	8 033
<b>Mayo 2017</b>	11,13	267,17	8 015
<b>Junio 2017</b>	11,17	268,17	8 045
<b>Julio 2017</b>	11,14	267,47	8 024
<b>Agosto 2017</b>	11,17	268,03	8 041
<b>Promedio</b>	<b>11,14</b>	<b>267,29</b>	<b>8 018</b>

**Fuente:** Establo Monteverde



### 3.2.2. Proyecciones de la demanda de energía en el ordeño mecánico.

En la tabla N°13 se presenta las proyecciones con respecto a la demanda de carga de energía en el ordeño mecánico, para ello se tomaron los valores de la tabla N°12, y así poder ver su tendencia, teniendo como resultado 11,23 kWh valor que me indica la demanda de energía para el área de ordeño mecánico.

**Tabla N° 13:** Proyecciones del consumo de energía

Meses	N° de meses	Consumo de energía en kWh	Consumo de energía en kWh (mes)
<b>Septiembre 2017</b>	13	11,17	8 043
<b>Octubre 2017</b>	14	11,18	8 047
<b>Noviembre 2017</b>	15	11,18	8 051
<b>Diciembre 2017</b>	16	11,19	8 055
<b>Enero 2018</b>	17	11,19	8 059
<b>Febrero 2018</b>	18	11,20	8 062
<b>Marzo 2018</b>	19	11,20	8 066
<b>Abril 2018</b>	20	11,21	8 070
<b>Mayo 2018</b>	21	11,21	8 074
<b>Junio 2018</b>	22	11,22	8 078
<b>Julio 2018</b>	23	11,22	8 081
<b>Agosto 2018</b>	24	11,23	8 085
<b>Septiembre 2018</b>	25	11,23	8 089
<b>Octubre 2018</b>	26	11,24	8 093
<b>Noviembre 2018</b>	27	11,24	8 097
<b>Diciembre 2018</b>	28	11,25	8 101
<b>Enero 2019</b>	29	11,25	8 104
<b>Febrero 2019</b>	30	11,26	8 108
<b>Marzo 2019</b>	31	11,26	8 112
<b>Abril 2019</b>	32	11,27	8 116
<b>Mayo 2019</b>	33	11,27	8 120
<b>Junio 2019</b>	34	11,28	8 124
<b>Julio 2019</b>	35	11,28	8 127
<b>Agosto 2019</b>	36	11,29	8 131
<b>Septiembre 2019</b>	37	11,29	8 135
<b>Promedio</b>	38	<b>11,23</b>	<b>8085</b>

Elaboración propia

### **Cálculos para hallar la densidad de la mezcla (agua + estiércol de vaca):**

Densidad de estiércol de vaca:  $993 \text{ kg/m}^3$

Densidad del agua:  $1000 \text{ kg/m}^3$

Por lo tanto la densidad de la mezcla es:

$$D_{mezcla} = \frac{\%estiércol \times D_{estiércol} + \%H_2O \times D_{H_2O}}{100}$$

$$D_{mezcla} = \frac{50\% \times 993 + 50\% \times 1000}{100}$$

$$D_{mezcla} = 996,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

### **Cálculos para hallar la cantidad de energía y de biogás:**

Para hallar la cantidad de energía se trabajará con el valor promedio de la tabla N°13 proyecciones del consumo de energía, teniendo como valor 11,23 kWh que me indica la demanda de energía en el área de ordeño mecánico; además se multiplicará por un porcentaje del 20% de excedente por seguridad en la producción (Chapman, 2006).

Entonces tenemos:

$$11,23 \text{ kWh} \times 1,2 = 13,47 \text{ kWh}$$

La cantidad de energía a producir para el ordeño mecánico será de 13,47 kWh.

Y según (Samayoa, et al. 2012);  $1 \text{ m}^3$  de biogás genera 6,25 kWh de electricidad.

$$\begin{array}{l} 1 \text{ m}^3 \text{ de biogás} \longrightarrow 6,25 \text{ kWh} \\ X \longrightarrow 13,47 \text{ kWh} \end{array}$$

$$X = 2,15 \text{ m}^3 \text{ de biogás/h}$$

$$X = 2,15 \times 24 \text{ h} = 51,6 \text{ biogás/día (Libre de H}_2\text{S)}$$

El biogás contiene la siguiente composición (Nodar; 2012), 65% es metano, 27% es  $CO_2$  y 3,8% es  $H_2S$ . Este biogás pasará por un filtro de retención de  $H_2S$ , el cual va a retener todo el sulfuro de hidrógeno, para tener un gas limpio.

Se obtiene lo siguiente:

$$\% H_2S = 3,8 \qquad \% \text{ biogás libre de } H_2S = 96,2$$

$$\begin{aligned} \text{Biogás con } H_2S &= \frac{2,15}{96,2} \times 100 \\ \text{Biogás con } H_2S &= 2,24 m^3 \text{ biogás/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{En un día} &= 2,24 \times 24h \\ \text{En un día} &= 54 m^3 \text{ biogás/día} \end{aligned}$$

Y según (Moncayo, 2014) asume una producción de biogás de  $0,35 m^3$  biogás/kg de DQO degradado, pero se asume que solo se degrada el 75% (Moncayo, 2014). Por lo tanto, la DQO es el parámetro que permite hallar la cantidad de biogás que se generará en el biodigestor; entonces se procede hacer el cálculo correspondiente con el valor de la DQO obtenido en los laboratorios de la Universidad Nacional Agraria La Molina, ya que es el dato que más se asemeja a la realidad.

Entonces tenemos:

$$\text{Concentración total de DQO} = \frac{\text{Biogás}}{\text{Factor de DQO degradado} \times \text{Rendimiento}}$$

$$\text{Concentración total de DQO} = \frac{54}{0,75 \times 0,35}$$

$$\text{Concentración total de DQO} = 205,72 m^3 kg \text{ DQO/día}$$

De los datos obtenidos del análisis de laboratorio de las excretas bovinas realizado en la Universidad Nacional Agraria La Molina de registro N°2604 indica una concentración de DQO de 15 864,41 mg/L. (ver anexo 4)

Por lo tanto, con la concentración total de DQO y la concentración de DQO expedida por el laboratorio hallamos el efluente de carga al biodigestor:

$$\text{Efluente de carga al biodigestor} = \frac{\text{Concentración total de DQO}}{\text{Concentración de DQO}}$$

$$\text{Efluente de carga al biodigestor} = \frac{205,72 \text{ kg DQO}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ litro biogás}}{15\ 864,41 \text{ mg DQO}} \times \frac{10^6 \text{ mg DQO}}{1 \text{ kg DQO}} \times \frac{1 \text{ m}^3 \text{ biogás}}{10^3}$$

$$\text{Efluente de carga al biodigestor} = 12,97 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$12,97 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \frac{996,5 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} = 12\ 924,61 \text{ kg/día}$$

$$\text{Efluente de carga al biodigestor} = 12\ 924,61 \text{ kg/día}$$

Ahora tenemos que:

$$\text{Biomasa diaria} = \text{Masa de estiércol} + \text{Masa de H}_2\text{O}$$

Y la proporción es de 1:1 (Carrasco, 2008)

$$\text{Masa de estiércol} = 6\ 462,31 \text{ kg}$$

$$\text{Masa de H}_2\text{O} = 6\ 462,31 \text{ kg}$$

Por lo tanto:

$$\text{Biomasa diaria} = 6\ 462,31 + 6\ 462,31$$

$$\text{Biomasa diaria} = 12\ 924,62 \text{ kg/día}$$

Por otro lado tenemos que:

$$\frac{6\ 462,31}{75\ 125} \times 100 = 8,61\%$$

**Nota:** Los 75 125 kg es el total de estiércol diario producido por el ganado bovino que se encuentra en la tabla N°09 del objetivo 1.

Solo se utilizará el 8,61% del estiércol, ya que esta cantidad será suficiente para producir biogás y posteriormente generar energía.

### Recalculando nuevamente la disponibilidad de energía:

Anteriormente se calculó la cantidad de energía que se generará para el ordeño mecánico de 13,47 kWh, este valor puede hallarse de otra manera con el fin de comprobar si esta cantidad de energía obtenida es la correcta. Para ello tenemos que: según (Samayoa, et al. 2012); 1 m<sup>3</sup> de biogás genera 6,25 kWh de electricidad.

La cantidad de biogás que se va a producir es de 54 m<sup>3</sup>/día, por lo tanto tenemos lo siguiente:

$$\begin{array}{l} 1m^3 \text{ de biogás} \longrightarrow 6,25 \text{ kWh} \\ \frac{54m^3}{24} \text{ de biogás} \longrightarrow X \end{array}$$

$$X = 14,06 \text{ kWh}$$

$$X = 355,5 \text{ kWh-día}$$

$$X = 10\ 665 \text{ kWh-mes}$$

Realizando ambas operaciones tenemos valores muy aproximados entre 13,47 kWh y 14,06 kWh, teniendo un promedio de 13,76 kWh, ya que estos datos me servirán para poder escoger el tipo de generador de biogás a través de su potencia con el cual se va a trabajar para producir energía y llevarla hacia el ordeño mecánico.

En la tabla N°14 se presentan las mismas cantidades de energías calculadas anteriormente las cuales se generará por medio del biogás tanto en horas, al día y al mes; se los llevó a una tabla para un mejor entendimiento:

**Tabla N° 14:** Cantidad de energía producida por los datos obtenidos del biogás

<b>Biogás obtenido al día</b>	<b>1m<sup>3</sup> de biogás genera</b>	<b>Energía obtenida en hora, día y mes</b>
<b>54 m<sup>3</sup>/día</b>	6,25 kWh	14,06 kWh
<b>54 m<sup>3</sup>/día</b>	6,25 kWh	355,5 kWh (día)
<b>54 m<sup>3</sup>/día</b>	6,25 kWh	10 665 kWh (mes)

Elaboración propia

### 3.2.1. Maquinarias y equipos del área de ordeño mecánico.

Además, es necesario conocer las máquinas y equipos que se utilizan en el área de ordeño mecánico con sus respectivas características y el uso correspondiente, con la finalidad de saber su potencia. Tabla N° 15.

**Tabla N° 15:** Máquinas – equipos del área de ordeño mecánico.

Máquinas/equipos	N° de máq. /eq.	Potencia hp/W	Potencia kW	Uso de las máq. o equipos
<b>Intercambiador de calor CHILER</b>	01	52 hp	38,77	Cambia la T° de leche de 35°C a 3°C.
<b>Tanque SURGE</b>	01	12 hp	8,95	Almacenamiento de leche a T° de 13°C a 2°C.
<b>Tanque HAN 1–HAN 2</b>	02	6 hp	8,95	Almacenamiento de leche a T° de 13°C a 2°C.
<b>Bomba de vacío Principal WETSFALIA Lobular</b>	01	10 hp	7,46	Ordeño de vacas Cap. 3 500 l.
<b>Bomba de vacío Principal WETSFALLA Lobular</b>	01	15 hp	11,18	Ordeño de vacas Cap. 4 500 l.
<b>Bomba de vacío Principal de Laval (auxiliar)</b>	01	6 hp	4,47	Ordeño de vacas Cap. 800 l.
<b>Bomba de agua</b>	01	3 hp	2,24	Lavado de corrales.
<b>Tanque ALFA</b>	01	6 hp	4,47	Almacenar leche a T° de 13°C a 2°C.
<b>Termas</b>	04	2 000 W	8	Lavar la máq. de ordeño y paños de pezón.
<b>Secadoras</b>	06	5 000 W	30	Secado de las máq.
<b>Fluorescentes</b>	45	40 W	18	Iluminación en el área de ordeño.
<b>Ventiladores</b>	08	0,9 hp	5,37	Ventilar el mal olor.
<b>Lavadora</b>	32	1 hp	23,86	Lavado de los pezones.
<b>Reflectores Led</b>	04	80 W	0,32	Iluminar exteriores.
<b>Total kW=</b>			<b>172,05</b>	

Fuente: Establo Monteverde

### 3.3. Diseño del sistema de tratamiento de excretas para la obtención de biogás

En la tabla N°16 se detalla las diferencias y similitudes entre los biodigestores más conocidos para el diseño del sistema de tratamiento de excretas y obtención de biogás, las cuales se mencionan a continuación:

**Tabla N° 16:** Diferencias y similitudes entre los modelos de biodigestores más conocidos

Características	Tipo de biodigestor		
	Tubular (Salchicha)	Cúpula fija (tipo chino)	Cúpula flotante (tipo hindú)
<b>Vida útil</b>	10 - 15 años	≥ 20 años	≥ 15 años
<b>Presión del biogás</b>	Variable y baja	Variable y constante	Constante
<b>Fuga de biogás</b>	No es común	No hay fuga	No es común
<b>Tamaño típico del biodigestor</b>	Para industrias ganaderas, fincas porcinas, etc.	Para industrias ganaderas, fincas porcinas, etc.	Para industrias ganaderas, fincas porcinas, etc.
<b>Materiales de construcción</b>	Plástico PVC (Polietileno)	Cemento, ladrillo o bloque y varillas de fierro	Cemento, ladrillo o bloque y cúpula flotante de acero anticorrosivo
<b>Mantenimiento del sistema</b>	Bajos niveles de mantenimiento siempre y cuando se hayan tomado medidas de protección a la bolsa de PVC (cerco perimetral, techo protector)	Baja, no hay componentes móviles ni elementos que se oxiden	Altos niveles de mantenimiento a la cúpula flotante, eliminación de óxido, recubrimiento con anticorrosivos periódicamente
<b>Ubicación del biodigestor y requerimiento de espacio</b>	Semi enterrado, alto Zanja de aprox. 2,5 m profundidad y 50 cm de largo por cada m Metro cúbico de biodigestor	Bajo tierra totalmente Requerimiento de espacio muy bajo, generalmente solo la línea de extracción de biogás	Bajo tierra Requerimiento de espacio en la superficie es bajo, solamente cúpula flotante
<b>Generación de empleo</b>	Sí	Sí	Sí
<b>Tipo de residuo</b>	Aguas residuales de cualquier sector (café, ganado bovino, porcino y aguas con sangre), evitando el uso de desechos sólidos	Residuos con mucha fibra ganado bovino, porcino, etc.	Residuos con mucha fibra suelen causar problemas a la cúpula.

**Fuente:** (Samayoa, et al. 2012)

### 3.3.1. Metodología para la selección del tipo de biodigestor

#### Factores de ponderación:

En las siguientes tablas se presenta los factores de ponderación, donde se determinó el tipo de biodigestor que se va a utilizar en este proyecto; para ello se ha determinado un listado con los factores más relevantes teniendo en consideración las características en común en cuanto a estos tres biodigestores (Campana flotante, campana fija y el biodigestor tubular), de los cuales se eligieron a 9 factores importantes para llevar a cabo su elección como la vida útil, presión del biogás, fuga del biogás, tamaño típico del biodigestor, materiales de construcción, mantenimiento del sistema, ubicación del biodigestor y requerimiento de espacio, generación del empleo y tipo de residuo; estableciendo así una ponderación a cada factor para indicar el grado de importancia de cada una de las alternativas. Todo esto se recoge en la siguiente tabla.

Tabla N° 17: Ponderación para determinar el biodigestor a utilizar.

Descripción de los factores	Factor	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Puntaje	Ponderación (%)
1. Vida útil	A	X	1	1	0	2	2	0	2	1	9	12%
2. Presión del biogás	B	2	X	2	0	2	0	1	1	1	9	12%
3. Fuga de biogás	C	2	0	X	1	2	2	1	0	1	9	12%
4. Tamaño típico del biodigestor	D	1	0	1	X	0	0	0	2	1	5	8%
5. Materiales de construcción	E	2	2	2	2	X	0	1	2	1	12	12%
6. Mantenimiento del sistema	F	2	0	2	1	1	X	1	2	1	10	14%
7. Ubicación del biodigestor y requerimiento de espacio	G	1	1	2	1	1	1	X	1	1	9	12%
8. Generación de empleo	H	0	1	0	0	0	2	1	X	1	5	8%
9. Tipo de residuo	I	1	1	1	1	1	1	1	0	X	7	10%
<b>Total</b>											<b>75</b>	<b>100%</b>

Fuente: (Samayoa, et al. 2012)

Valoración	
Menos importante	1
Igual importancia	0
Más importante	2



**Tabla N° 18:** Ponderación para determinar el biodigestor

Descripción de los factores	Biodigestor tubular	Campana fija	Campana flotante
1. Vida útil	0	2	2
2. Presión del biogás	1	0	2
3. Fuga del biogás	0	2	0
4. Tamaño típico del biodigestor	2	2	2
5. Materiales de construcción	1	2	0
6. Mantenimiento del sistema	0	2	1
7. Ubicación del biodigestor y requerimiento de espacio	0	2	2
8. Generación de empleo	2	2	2
9. Tipo de residuo	2	2	1
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>12</b>

**Fuente:** (Samayoa, et al. 2012)

**Tabla N° 19:** Resultados de los factores de ponderación para determinar el biodigestor

Descripción de los factores	Factor	Ponderación (%)	Biodigestor tubular	Campana fija	Campana flotante
1. Vida útil	A	12%	0,00	0,24	0,24
2. Presión del biogás	B	12%	0,12	0,00	0,24
3. Fuga del biogás	C	12%	0,00	0,24	0,00
4. Tamaño típico del biodigestor	D	8%	0,16	0,16	0,16
5. Materiales de construcción	E	12%	0,12	0,24	0,00
6. Mantenimiento del sistema	F	14%	0,00	0,28	0,14
7. Ubicación del biodigestor y requerimiento de espacio	G	12%	0,00	0,24	0,24
8. Generación de empleo	H	8%	0,16	0,16	0,16
9. Tipo de residuo	I	10%	0,20	0,20	0,10
<b>Total</b>			<b>0,76</b>	<b>1,76</b>	<b>1,28</b>

**Fuente:** (Samayoa, et al. 2012)

Basándonos en los puntajes ponderados de la tabla anterior para poder determinar el tipo de biodigestor que se utilizará en el establo Monteverde, la alternativa del biodigestor campana fija representa el sitio preferido por su eficiencia al dar énfasis en su elección, esto quiere decir que producirá biogás, atendiendo la demanda para el área de ordeño mecánico.

### **3.3.2. Metodología para el diseño de un biodigestor de campana fija:**

En este caso, el procedimiento metodológico empleado para realizar el diseño de un biodigestor de campana fija (vida útil, costo de instalación, selección del sitio de construcción, cantidad de gas a producir, y determinación de las dimensiones de la planta, etc.) es sugerido a partir de los siguientes pasos (Olaya, et al. 2009):

- Posible carga orgánica (biomasa).
- Determinación del tiempo de retención (Tr).
- Determinación de las dimensiones del biodigestor.
- Dimensionamiento del tanque de compensación (Vc) y almacenamiento del gas (Vg).

#### **a. Estimación de la biomasa diaria:**

La biomasa diaria es calculada como el total de estiércol diario y mezcla de agua:

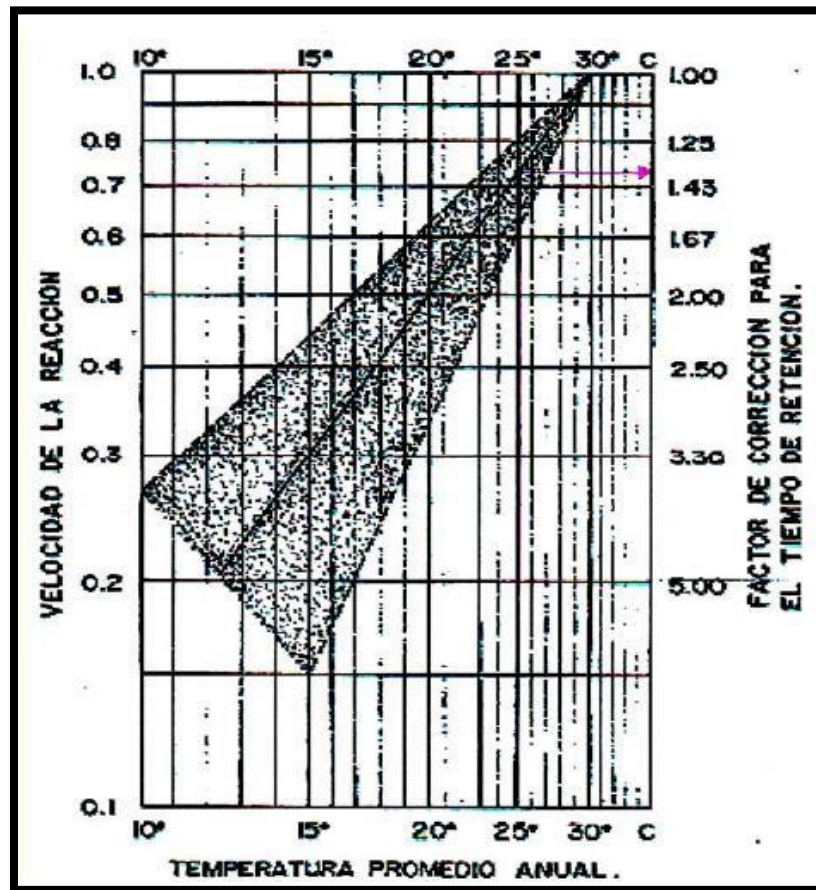
$$\text{Biomasa diaria} = \text{Masa de estiércol} + \text{Masa de H}_2\text{O} \quad (01)$$

$$\text{Biomasa diaria} = 6\,462,31 + 6\,462,31 \quad (02)$$

$$\text{Biomasa diaria} = 12\,924,62 \text{ kg/día} \quad (03)$$

#### **b. Dimensionamiento inicial del biodigestor, a partir del volumen de diseño para almacenamiento de la biomasa durante el tiempo de retención:**

Es necesario definir un tiempo de retención (Tr) para la estimación del volumen de diseño (Vd). El tiempo de retorno es calculado a partir del tiempo de retención ideal afectado por un factor de corrección (ecuación 06), acorde a la temperatura promedio del sitio de ubicación del alojamiento pecuario, el cual es proporcionado en la figura N° 03, y cuya lectura es mostrada en la figura N°08. Se toma como tiempo ideal de retorno 30 días. Entonces el volumen necesario corresponde al volumen capaz de almacenar la biomasa diaria concentrada durante el tiempo de retención (ecuación 08):



**Figura N° 9:** Lectura del factor de corrección para el tiempo de retención.

**Fuente:** (Olaya, et al. 2009).

$$\text{Tiempo de retención ideal} = 30 \text{ días} \quad (04)$$

Factor de corrección = 1,40 Este valor se tomó como referencia del autor para poder hallar el tiempo necesario que estarán las excretas dentro del biodigestor para su posterior descomposición. (Figura N°09) (05)

$$\text{Tr} = 30 \times \text{Factor de recolección} \quad (06)$$

$$\text{Tr} = 30 \times 1,40 = 42 \text{ días} \quad (07)$$

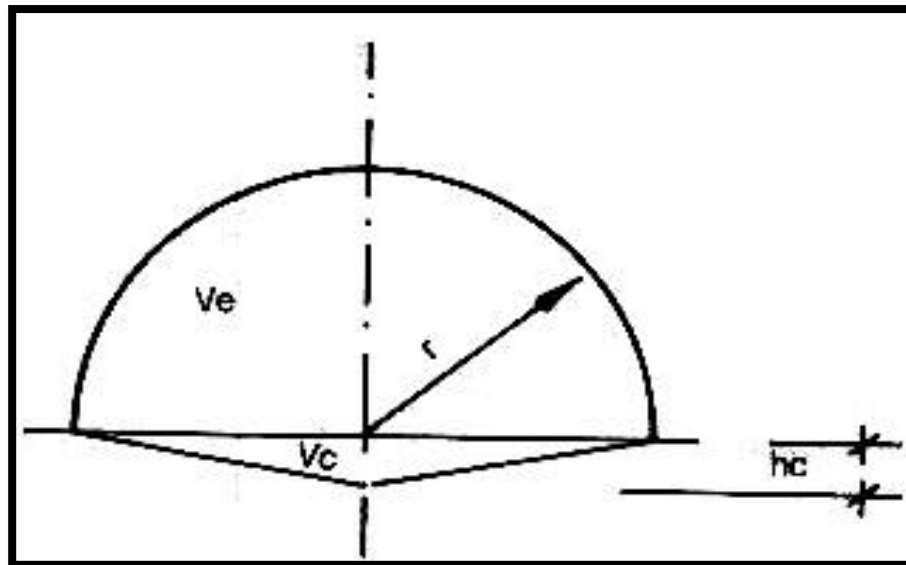
$$\text{Volumen necesario} = \text{Biomasa diaria} \times \text{Tr} \quad (08)$$

$$\text{Volumen necesario} = 12,97 \times 42 = 573,72 \text{ m}^3 \quad (09)$$

$$\text{Volumen de diseño} = V_d = 574 \text{ m}^3 \quad (10)$$

### c. Dimensionamiento del biodigestor:

El dimensionamiento del biodigestor comprende el cálculo del volumen de compensación ( $V_c$ ), el volumen de la cúpula o campana ( $V_e$ ) y el volumen de almacenamiento de gas ( $V_g$ ). En la figura N°10 (Olaya, et al. 2009), se muestran las variables que serán estimadas en los presentes cálculos:



**Figura N° 10:** Variables involucradas en el dimensionamiento del biodigestor.

**Fuente:** (Olaya, et al. 2009).

En la figura N°10,  $r$  corresponde al radio de la cúpula, y  $h_c$  corresponde a la altura del volumen complementario. Según (Olaya, et al. 2009) ha establecido una relación del volumen de la campana al volumen complementario de 10 a 1, así como un volumen total del biodigestor de un 4% adicional del volumen de diseño, al considerarse por razones de construcción (al construirse con mampostería o ladrillos) el espesor del repello que lo cubriría internamente (también se recomendaría repellar o aislar la cara externa de las paredes del biodigestor, del contacto con el suelo, para evitar corrosión, humedades y deterioro de la estructura). Lo anteriormente descrito, puede formularse como:

$$\frac{V_e}{V_c} = \frac{10}{1} \quad (11)$$

$$V_e + V_c = 1,04V_d \quad (12)$$

De las ecuaciones (11) y (12), se tiene que:

$$V_c + 10V_c = 11V_c = 1,04V_d \quad (13)$$

$$11V_c = 1,04 \times 574 = 596,96 \text{ m}^3 \quad (14)$$

$$V_c = 596,96 \text{ m}^3 / 11 = 54,27 \text{ m}^3 \quad (15)$$

$$V_e = 596,96 \text{ m}^3 - 54,27 \text{ m}^3 = 542,69 \text{ m}^3 \quad (16)$$

El valor de  $r$  puede calcularse con la ecuación (17), mientras el valor de  $h_c$  puede ser calculado de dos maneras, usando las ecuaciones (19) y (21) (la ecuación (21) es deducida del volumen del cono  $V_c = \frac{1}{3}\pi r^2 h_c$ .) Para el caso de  $h_c$ , se puede observar la proximidad de los valores.

$$r = \sqrt[3]{\frac{3}{2\pi} \times V_e} \quad (17)$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{3}{2\pi} \times 542,69} = 6,38 \text{ m} \quad (18)$$

$$h_c = \frac{r}{5} \quad (19)$$

$$h_c = \frac{6,38}{5} = 1,27 \text{ m} \quad (20)$$

$$h_c = \frac{3V_c}{\pi r^2} \quad (21)$$

$$h_c = \frac{3 \times 54,27}{\pi \times (6,38)^2} = 1,27 \text{ m} \quad (22)$$

Una vez definidos los valores de  $r$  y  $hc$ , en este caso  $r = 6,38$  m, y  $hc = 1,27$  m, se procede al chequeo del volumen de diseño, obtenido en la ecuación (12) [obsérvese la equivalencia con la ecuación (27)]. Se puede notar unos valores muy cercanos en los resultados del chequeo.

$$V_e = \frac{2}{3}\pi r^3 \quad (23)$$

$$V_e = \frac{2}{3}\pi(6,38)^3 = 543,91 \text{ m}^3 \quad (24)$$

$$V_c = \frac{1}{3}\pi h c r^2 \quad (25)$$

$$V_c = \frac{1}{3}\pi(1,27)(6,38)^2 = 54,14 \text{ m}^3 \quad (26)$$

$$1,04V_d = 543,91 + 54,14 = 598,05 \text{ m}^3 \quad (27)$$

$$V_d = 574,05 \text{ m}^3 \quad (28)$$

Se procede al cálculo del volumen de gas ( $V_g$ ). Se plantea entonces la siguiente ecuación, de acuerdo con la figura N°10 (el valor de  $V_g$  está en  $\text{m}^3$ , los valores de  $h$ ,  $a$  y  $b$  están en metros):

$$V_g = \frac{\pi h}{6}(3a^2 + 3b^2 + h^2) \quad (29)$$

Dónde:

$$h = \frac{2r}{5} - \text{borde libre} \quad (30)$$

$$\text{Borde libre} = 0,25 \text{ m} \quad (31)$$

$$a = \frac{4r}{5} \quad (32)$$

$$b = \frac{r}{2} \quad (33)$$

Reemplazándose los valores se obtiene entonces, esquematizado en la figura N°11 (Olaya, et al. 2009):

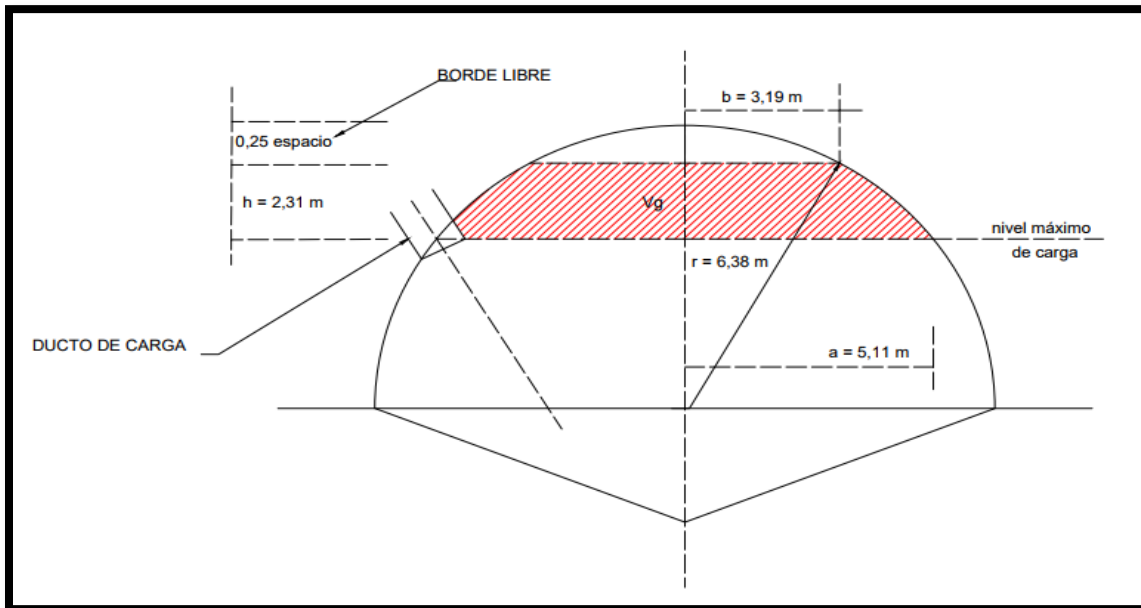
$$h = \frac{2(6,38)}{5} - 0,25 = 2,31 \text{ m} \quad (34)$$

$$a = \frac{4(6,38)}{5} = 5,11 \text{ m} \quad (35)$$

$$b = \frac{6,38}{2} = 3,19 \text{ m} \quad (36)$$

$$Vg = \frac{\pi(2,31)}{6} [3(5,11)^2 + 3(3,19)^2 + 2,31^2] \quad (37)$$

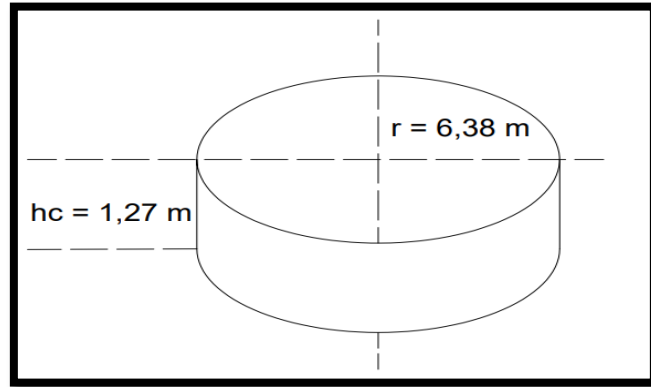
$$Vg = 138,13 \text{ m}^3 \quad (38)$$



**Figura N° 11:** Volumen de almacenamiento de gas (área sombreado).

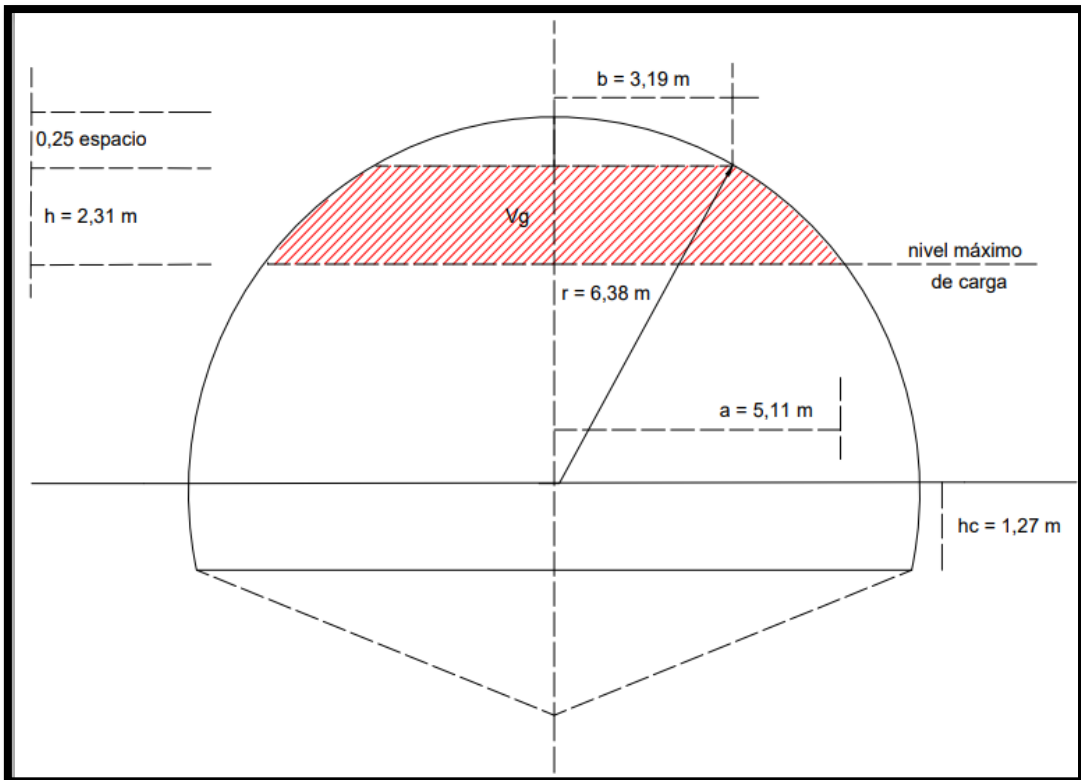
Elaboración propia

El volumen de gas a almacenar, requiere entonces la adición de un tanque de compensación que proporcione al biodigestor el volumen necesario para almacenar la biomasa a fermentar. El volumen del tanque, entonces corresponderá al volumen de gas, es decir  $138,13 \text{ m}^3$ , y se construye en medio del volumen generado por la campana y el volumen adicional; su forma geométrica corresponde a un cilindro, como se muestra en la figura N°12 (Olaya, et al. 2009).



**Figura N° 12:** Tanque de compensación

Elaboración propia



**Figura N° 13:** Corte transversal del esquema completo del biodigestor.

Elaboración propia



### 3.3.3. Instalaciones complementarias para la construcción del biodigestor

#### a. Tanque de mezcla o carga

En este tanque es donde se verterá el estiércol con el agua, la proporción es de 1:1. La construcción del tanque será a base de ladrillos, cemento, arena, arenilla, etc.

Para hallar la capacidad del tanque se tomó como referencia las especificaciones de un triciclo de carga (2m de largo, 1m de ancho y 1m de alto) y la densidad del estiércol ( $993 \frac{kg}{m^3}$ ); entonces tenemos lo siguiente:  $1 m^3$  tiene 993 kg de estiércol, y con  $2 m^3$  se obtendrá un aproximado de 2000 kg de estiércol, por ende mi capacidad del tanque será de 2000 kg, dejando un 25% de borde libre (Olaya, et al. 2009).

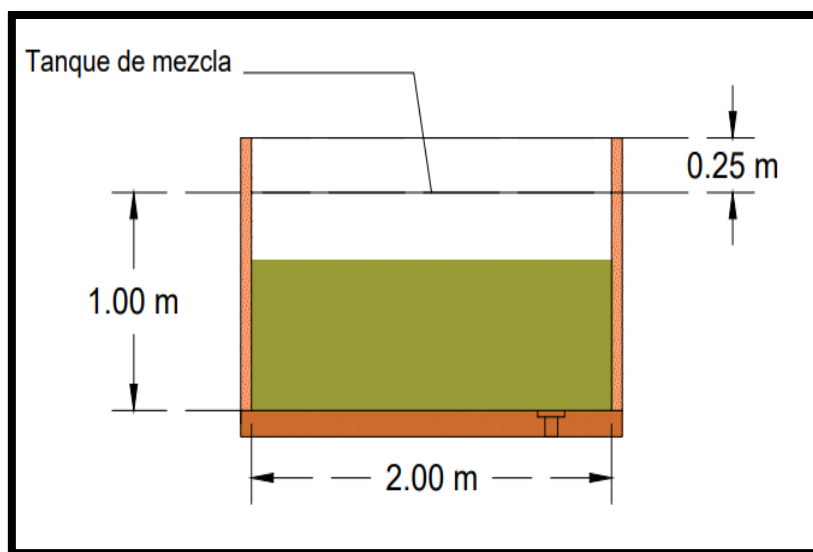
Las dimensiones del tanque de mezcla serán las siguientes:

*largo = 2m*

*ancho = 1m*

*altura = 1m*

*borde libre = 25%*



**Figura N° 14:** Tanque de mezcla

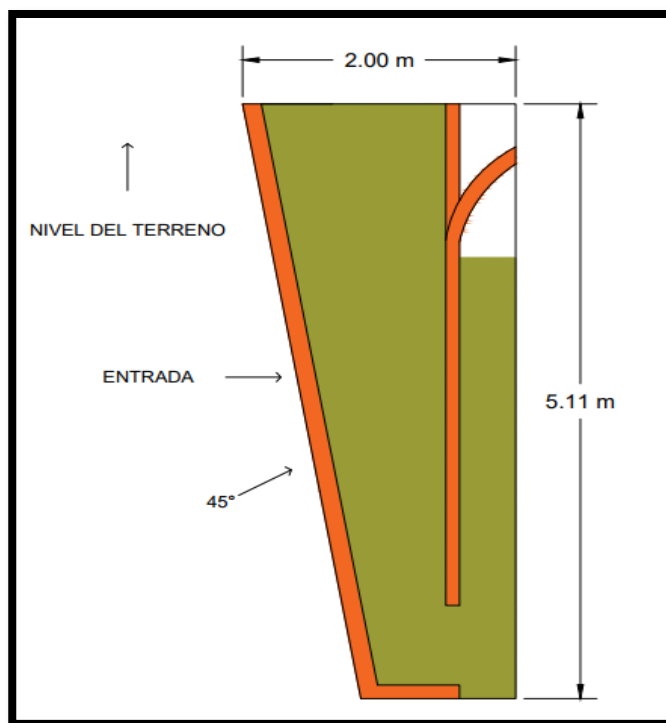
## b. Ducto de carga

Para la construcción del ducto de carga será a base de ladrillos, cemento, arena, arenilla, etc., y sus dimensiones están dadas de la siguiente forma:

*ancho* = 2m

*altura* = 5,11m

*Inclinación* = 45°

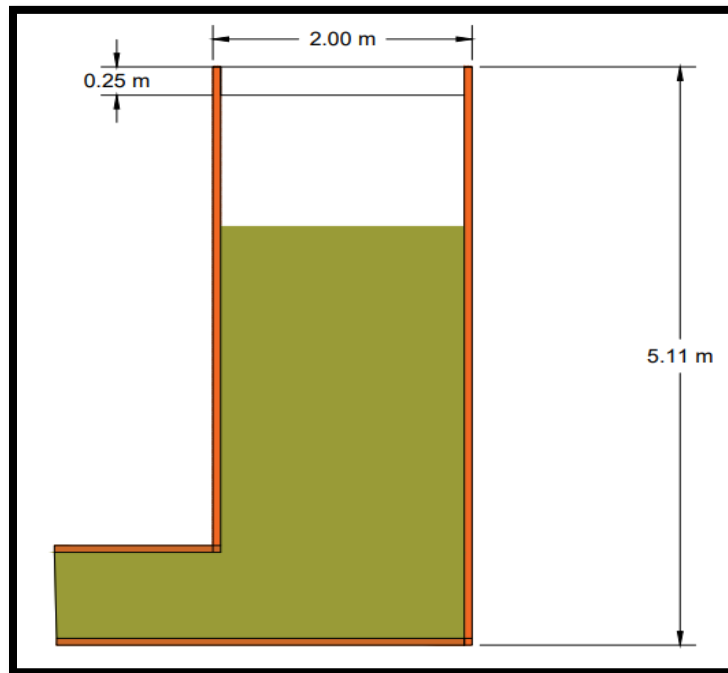


**Figura N° 15:** Ducto de carga

## c. Tanque de descarga

El tanque de descarga es aquel por donde se sacará el bioabono, producto de la descomposición del estiércol y el agua originado en el biodigestor (campana fija); para la construcción del tanque será a base de ladrillos, cemento, arena, arenilla, etc., con un borde libre del 25% (Olaya, et al. 2009). Sus dimensiones son las siguientes:

*ancho = 2m*  
*altura = 5,11m*  
*largo = 2m*  
*borde libre = 25%*



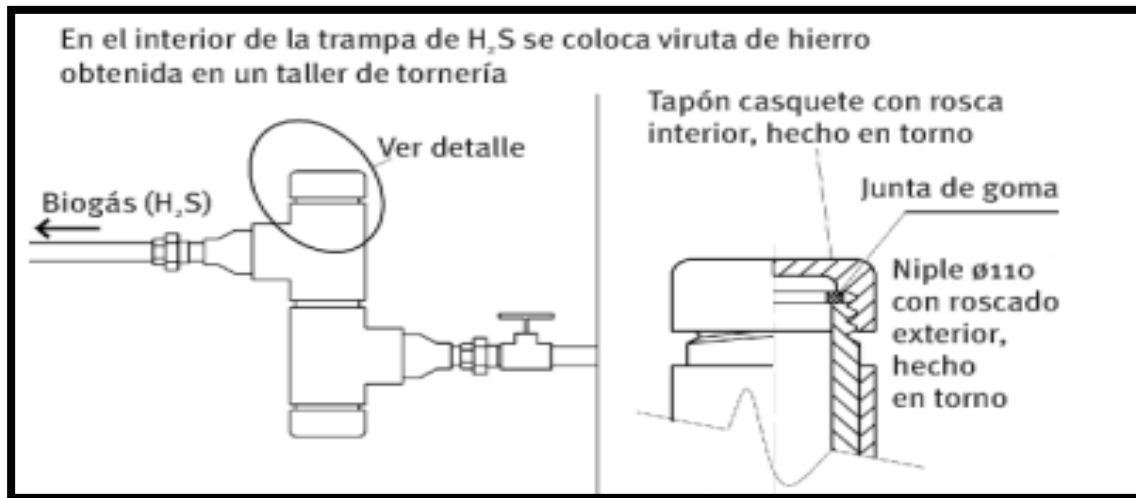
**Figura N° 16:** Tanque de descarga

### **3.3.4. Instalaciones de equipos y tuberías**

#### **a. Filtro para reducir sulfuro de hidrógeno**

El  $H_2S$  es necesario eliminarlo si su concentración es mayor de 2%, por las molestias que ocasiona y su alto poder corrosivo. Esta eliminación se realiza por absorción con hidratoférrico  $Fe(OH)_3$ , el que puede ser regenerado por exposición al aire.

Se utilizará viruta de hierro obtenida de un taller de tornería como se muestra en la figura N°17; y además tendrá un costo de S/. 348,35 nuevos soles cotizado por un técnico del establo, ya que este equipo será fabricado por el taller mecánico del establo.



**Figura N° 17:** Montaje de una trampa de ácido sulfhídrico

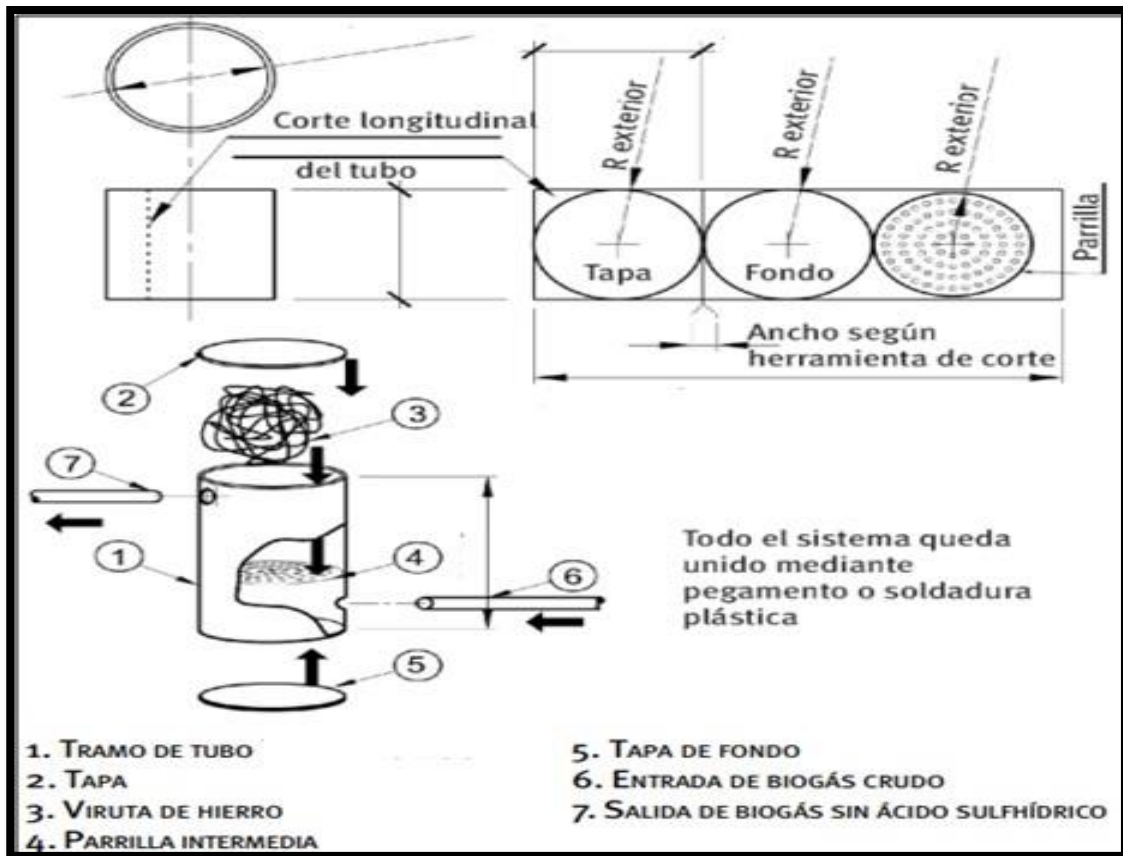
**Fuente:** Guardado, 2007

En todas las plantas se deben prever trampas para eliminar el ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ), las que deben limpiarse cada quince días, de manera que se drene el condensado allí acumulado.

Utilizando la trampa sugerida (que sustituye filtros a base de óxido de hierro), es posible eliminar el azufre. Se requiere, evidentemente, revisar y sustituir la viruta de hierro cuando se agote en el depósito, por lo que se recomiendan soluciones de diseño que permitan un acceso fácil al interior.

### **Cálculos para hallar las medidas de una trampa del sulfuro de hidrógeno**

En la figura N°18 se observa los principales componentes a tener en cuenta en el diseño de una trampa de ácido sulfhídrico realizada con tuberías y accesorios plásticos.



**Figura N°18:** Partes de una trampa de ácido sulfhídrico realizada con tuberías y accesorios plásticos.

**Fuente:** Guardado, 2007

Según (Nodar, 2012), el metano ( $\text{CH}_4$ ) representa el 65% del volumen del biogás, asimismo el  $\text{H}_2\text{S}$  representa el 3,8%. Conociendo estos datos se puede calcular el volumen de  $\text{CH}_4$  y del  $\text{H}_2\text{S}$  para proceder al diseño de la trampa de ácido sulfhídrico.

A continuación, se calculó el flujo volumétrico empleando la siguiente ecuación:

$$\dot{V} = \frac{V}{t}$$

Donde:

$\dot{V}$ : Flujo volumétrico del componente ( $m^3/h$ )

$V$ : Volumen del componente ( $m^3$ )

$t$ : Tiempo (h)

$$\dot{V}_{biogás} = 54 \frac{m^3}{día} \times \frac{1día}{8h} = 6.75 \frac{m^3}{h}$$

$$\dot{V}_{CH_4} = 6.75 \frac{m^3}{h} \times 0,65 = 4.38 \frac{m^3}{h}$$

$$\dot{V}_{H_2S} = 6.75 \frac{m^3}{h} \times 0,038 = 0.26 \frac{m^3}{h}$$

Una vez hallado el volumen, se calculó el flujo másico de cada uno empleando lo siguiente, para el  $H_2S$  se multiplicó por la densidad de  $1,539 \text{ kg}/m^3$ , y para el  $CH_4$  de  $0,717 \text{ kg}/m^3$  a CNPT.

$$\dot{m} = \dot{V} \times \rho$$

Donde:

$\dot{m}$ : Flujo másico del compuesto ( $kg/h$ )

$\dot{V}$ : Flujo volumétrico compuesto ( $m^3/h$ )

$\rho$ : Densidad del compuesto ( $kg/m^3$ )

$$\dot{m}_{CH_4} = 4.38 \frac{m^3}{h} \times 0,717 \frac{kg}{m^3} = 3.14 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{H_2S} = 0.26 \frac{m^3}{h} \times 1,539 \frac{kg}{m^3} = 0,41 \frac{kg}{h}$$

Para el caso del flujo másico del biogás se tomó como referencia el porcentaje en peso de metano.

$$\dot{m}_{\text{biogás}} = \frac{3,14 \text{ kg/h}}{0,65} = 4,83 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Según (Guerrero, 2003) la capacidad de la trampa del ácido sulfhídrico es en promedio 0,35 kg S por cada kg de hierro.

Y de acuerdo con la composición química del H<sub>2</sub>S, para un total de 0,41 kg H<sub>2</sub>S existe 0,38 kg S/h o lo que es lo mismo 3,04 kg S/día:

$$\frac{32 \text{ g S}}{34 \text{ g H}_2\text{S}} \times 0,41 \text{ kg H}_2\text{S} = 0,38 \text{ kg S/h}$$

Por lo tanto la capacidad de eliminación de la columna está dada por:

$$1 \text{ kg Fe} \rightarrow 0,35 \text{ kg S}$$

$$X \text{ kg Fe} \rightarrow 3,04 \text{ kg S}$$

$$X = 8,68 \text{ kg Fe/día}$$

Entonces, se divide por la densidad del hierro de 7 860 kg/m<sup>3</sup> (Agapito, 2007) y se multiplica por 42 días, resultado que se halló de los cálculos obtenidos en la metodología para el diseño de un biodigestor de campana fija (ver página 58), obteniendo el siguiente resultado:

$$\text{Capacidad del desulfurador} = \frac{8,68 \text{ kgFe}}{7\,860 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \times 42$$

$$\text{Capacidad del desulfurador} = 1,11 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{Fe}$$

(Guerrero, 2003), nos dice que la columna debe estar llena con hierro y aserrín en proporción de 60 a 40%, respectivamente. Entonces el valor obtenido de  $1,11 \times 10^{-3} \text{ m}^3$  representa el 60% de la columna, el 40% será de  $7,4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$  de aserrín.

$$Volumen\ total = 1,11 \times 10^{-3} \text{ m}^3 + 7,4 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 8,51 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

El área transversal para la trampa del ácido sulfhídrico es una sección circular, la cual puede hallarse de la siguiente manera:

$$A_T = \frac{\dot{V}_{biogás}}{v_{biogás}}$$

Donde:

$A_T$ : Área transversal del desulfurador

$\dot{V}_{biogás}$ : Caudal volumétrico de biogás

$v_{biogás}$ : Velocidad del biogás

La velocidad del biogás a través de la trampa del ácido sulfhídrico no debe ser menor de 5 cm/s (Guerrero, 2003), equivalente a 180 m/h.

$$A_T = \frac{6.75 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{180 \frac{\text{m}}{\text{h}}}$$

$$A_T = 0.04 \text{ m}^2$$

Entonces, el diámetro es:

$$0.04 = \pi \left( \frac{\phi}{2} \right)^2$$

$$\phi = 0.23 \text{ m}$$

$$\phi = 23 \text{ cm}$$



Y por último, la altura de la trampa de ácido sulfhídrico viene dado por la siguiente ecuación:

$$h = \frac{V_T}{A_T}$$

Donde:

h: Altura del desulfurador

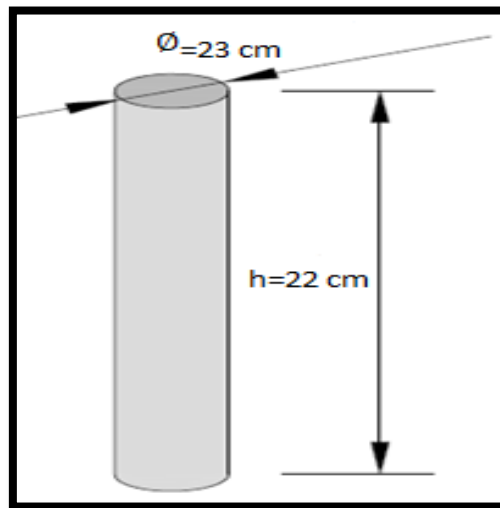
$A_T$ : Área transversal del desulfurador

$V_T$ : Volumen total del desulfurador

$$h = \frac{8,51 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{0.04 \text{ m}^2}$$

$$h = 0,22 \text{ m}$$

$$h = 22 \text{ cm}$$



**Figura N° 19:** Medidas de la trampa de ácido sulfhídrico

## b. Selección de un tanque de almacenamiento del biogás

Una vez obtenido el biogás en el biodigestor, éste se tendrá que almacenar en un tanque para su posterior uso. Las dimensiones del tanque están dadas por el volumen del gas producidas durante los 42 días, que viene hacer 2 268 m<sup>3</sup>al mes.

Se optó por escoger un tanque de almacenamiento de 2 500 m<sup>3</sup>, teniendo en cuenta las especificaciones técnicas de cada equipo (ver tabla N° 20 y 21), a través de los siguientes criterios de selección como vida útil, volumen máximo, presión del biogás, temperatura, tamaño del tanque, mantenimiento del tanque y la resistencia a la corrosión, todo esto se recoge en las siguientes tablas:

**Tabla N° 20:** Especificaciones técnicas del tanque A

<b>Principales parámetros técnicos</b>		
1	Color de capa	Azul marino, verde oscuro, blanco, y modificado para requisitos particulares.
2	Vida de servicio	≥ 15 años
3	Volumen máximo	2 500 m <sup>3</sup>
4	Temperatura	-190°C hasta +50°C
5	Permeabilidad	Gas y líquido impermeable
6	Tamaño estándar	Talla 7 400 mm x 1 200 m
7	Resistente a la corrosión	Excelente
8	Mantenimiento	Altos niveles de mantenimiento recubrimiento con anticorrosivos periódicamente
9	Dureza	6,0 Mohs
10	Ácido y prueba de la alcalinidad	Trajes de la capa del especial para el pH3 - pH11, trajes de la capa especial para pH1 - pH14
11	Prueba de chispa	>1500 V
12	Presión	8 bar, 14 bar

**Fuente:** Empresa Center Enamel Co, Ltd



**Figura N° 20:** Tanque A

**Fuente:** Empresa Center Enamel Co, Ltd

**Tabla N° 21:** Especificaciones técnicas del tanque B

<b>Principales parámetros técnicos</b>		
1	Vida de servicio	≥ 30 años
2	Volumen máximo	2 500 m <sup>3</sup>
3	Presión	8 bar, 16 bar
4	Temperatura mínima	-196°C
5	Temperatura máxima	+50°C
6	Resistente a la corrosión	Muy resistente y estable en la superficie de los mismos.
7	Material del tanq. interno	Grueso, placas de acero 3m m - 12m m
8	Material del tanq. externo	Capa gruesa, 0.25m m - 0.4m m
9	Ancho	2500 mm
10	Longitud	7000 mm
11	Peso vacío	59 345 Kg
12	Mantenimiento	Baja, no hay componentes móviles ni elementos que se oxiden.
13	Método de aislamiento	Alto vacío de múltiples capas de aislamiento

**Fuente:** Empresa Luquiang Energy Equipment Co, Ltd.



**Figura N° 21:** Tanque B

**Fuente:** Empresa Luquiang Energy Equipment Co, Ltd

Una vez presentada las especificaciones técnicas de cada tanque de almacenamiento se precedió a realizar los criterios de selección para determinar el tanque que se va a utilizar:

**Tabla N° 22:** Criterios de selección para determinar el tanque a utilizar.

<b>Criterios de selección</b>	<b>Factor</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>Puntaje</b>	<b>Ponderación (%)</b>
1. Vida útil	A	X	1	1	1	1	2	2	8	18%
2. Volumen máximo	B	1	X	0	0	2	0	1	4	8%
3. Presión de biogás	C	1	2	X	0	2	0	1	6	13%
4. Temperatura	D	1	1	1	X	1	0	1	5	12%
5. Tamaño del tanque	E	0	2	2	0	X	2	2	8	18%
6. Mantenimiento del tanque	F	2	0	0	0	2	X	2	6	13%
7. Resistencia a la corrosión	G	2	1	2	1	0	2	X	8	18%
<b>Total</b>									<b>45</b>	<b>100%</b>

<b>Valoración</b>	
<b>Menos importante</b>	1
<b>Igual importancia</b>	0
<b>Más importante</b>	2

**Tabla N° 23:** Ponderación para determinar el tanque de almacenamiento

<b>Criterios de selección</b>	<b>Tanque A</b>	<b>Tanque B</b>
1. Vida útil	0	2
2. Volumen máximo	2	2
3. Presión del biogás	2	2
4. Temperatura	2	2
5. Tamaño del tanque	2	2
6. Mantenimiento del tanque	0	2
7. Resistencia a la corrosión	2	2
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>14</b>

**Tabla N° 24:** Resultados de los criterios de selección para determinar el tanque de almacenamiento

<b>Criterios de selección</b>	<b>Factor</b>	<b>Ponderación (%)</b>	<b>Tanque A</b>	<b>Tanque B</b>
1. Vida útil	A	18%	0,00	0,36
2. Volumen máximo	B	8%	0,16	0,16
3. Presión del biogás	C	13%	0,26	0,26
4. Temperatura	D	12%	0,24	0,24
5. Tamaño del tanque	E	18%	0,36	0,36
6. Mantenimiento del tanque	F	13%	0,00	0,26
7. Resistencia a la corrosión	G	18%	0,36	0,36
<b>Total</b>			<b>1,38</b>	<b>2,00</b>

Basándonos en los criterios de selección de la tabla anterior para poder determinar el tanque de almacenamiento que se utilizará en el establo Monteverde, la alternativa del “tanque B” de 2 500m<sup>3</sup> representa el equipo preferido por su eficiencia al dar énfasis en su elección, esto quiere decir que podrá almacenar el biogás, atendiendo la demanda para el área de ordeño mecánico.

### c. Selección de un generador de energía a partir del biogás:

Con los cálculos obtenidos se necesita 13,47 kWh de energía eléctrica para atender la demanda en el área de ordeño mecánico, valor que permite hallar el generador que se va a utilizar para esta propuesta. Para ello se tomó en cuenta las especificaciones técnicas de cada equipo (ver tabla N° 25 y 26), a través de los siguientes criterios de selección como vida útil, potencia, voltaje, dimensiones, peso, mantenimiento y la resistencia a la corrosión. Todo esto se recoge en las siguientes tablas:

**Tabla N° 25:** Especificaciones técnicas del generador A

<b>1. Generador de gas conjunto</b>	<b>Características</b>
Modelo	TFBG15GF
Vida útil	≥ 10 años
Potencia (kW)	15
Voltaje de salida (V)	220/400
Frecuencia/velocidad Nominal (Hz/rpm)	50/1500
Grupo electrógeno peso neto (kg)	600
Grupo electrógeno Tamaño (L * H * H MM)	1600 × 600 × 1000
Resistencia a la corrosión	Muy resistente y estable en la superficie de los mismos.
Mantenimiento	Baja, no hay componentes móviles ni elementos que se oxiden.
<b>2. Motor de gas</b>	<b>Características</b>
Motor de Serie	495
Número de cilindros	4L
Diámetro/Carrera	90/100
Startup mode/modo De Refrigeración	24 V DC/refrigerado por Agua
<b>3. Generador</b>	<b>Características</b>
Generador de marca	LONGGANG
Generador modelo	HDI.184E
Potencia del motor (kW)	15
<b>4. Sistema de control</b>	<b>SMARTGEN</b>

**Fuente:** Empresa Taizhou Taifa New Energy Science Co., Ltd.



**Figura N° 22:** Generador A

**Fuente:** Empresa Taizhou Taifa New Energy Science Co., Ltd

**Tabla N° 26:** Especificaciones técnicas del generador B

<b>Características</b>	<b>Unidades</b>	<b>16 kWh</b>
Vida útil	-	≥ 10 años
Primer poder	kVA/Kw	15/12.0
Frecuencia	Hz	60
Voltaje nominal	V	480
Marca	-	-
Motor modelo	-	M-4Y
Desplazamiento	L	2,237
Velocidad	RPM	1 800
Método de inicio	-	Arranque eléctrico
Método de enfriamiento	-	Enfriamiento hidráulicamente
Mantenimiento	-	Baja, no hay componentes móviles ni elementos que se oxiden.
Modelo	-	
Resistencia a la corrosión	-	Muy resistente y estable en la superficie de los mismos.
Tipo de controlador	-	LCD
Combustible	-	Biogás
Presión de entrada del gas	kPa	1-5.5kPa
Dimensión (tipo abierto)	mm*mm*mm	1400*710*920
Peso neto (tipo abierto)	Kg	480

**Fuente:** AquaLimpia Engineering, 2014



**Figura N° 23:** Generador B

**Fuente:** AquaLimpia Engineering

Una vez presentada las especificaciones técnicas de cada generador de energía se precedió a realizar los criterios de selección para determinar el generador que se va a utilizar:

**Tabla N° 27:** Criterios de selección para determinar el generador de energía utilizar.

<b>Criterios de selección</b>	<b>Factor</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>Puntaje</b>	<b>Ponderación (%)</b>
1. Vida útil	A	X	1	1	1	1	2	0	8	18%
2. Potencia	B	2	X	2	1	1	2	1	9	21%
3. Voltaje	C	1	1	X	1	1	1	1	6	14%
4. Dimensiones	D	1	1	1	X	0	1	1	5	12%
5. Peso	E	1	1	1	0	X	0	0	3	7%
6. Mantenimiento	F	0	1	1	1	1	X	2	6	14%
7. Resistencia a la corrosión	G	0	1	1	1	1	2	X	6	14%
<b>Total</b>									<b>43</b>	<b>100%</b>

<b>Valoración</b>	
<b>Menos importante</b>	1
<b>Igual importancia</b>	0
<b>Más importante</b>	2



**Tabla N° 28:** Ponderación para determinar el generador de energía

<b>Criterios de selección</b>	<b>Generador A</b>	<b>Generador B</b>
1. Vida útil	2	2
2. Potencia	2	0
3. Voltaje	2	0
4. Dimensiones	2	2
5. Peso	0	2
6. Mantenimiento	2	2
7. Resistencia a la corrosión	2	2
<b>Total</b>	<b>12</b>	<b>10</b>

**Tabla N° 29:** Resultados de los criterios de selección para determinar el generador

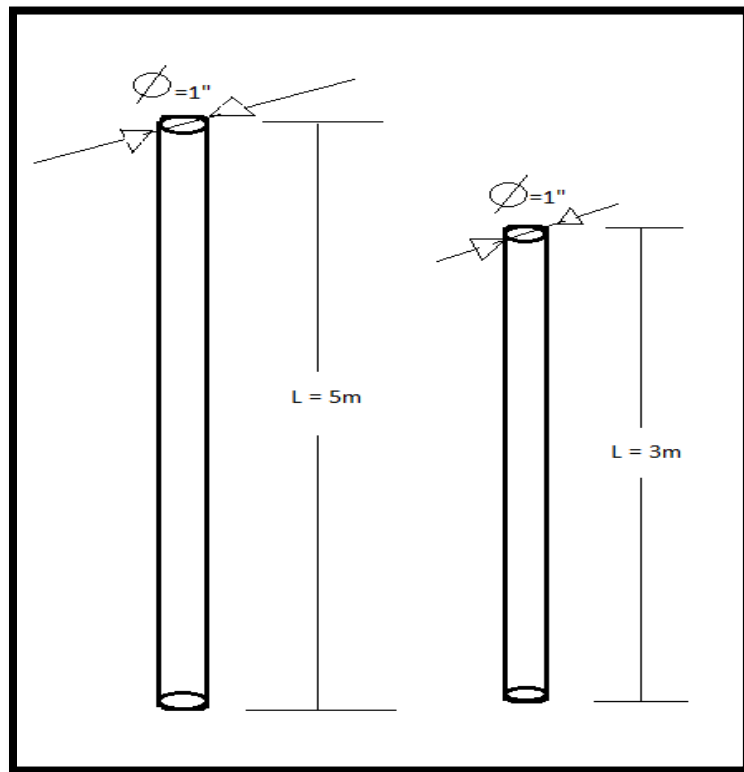
<b>Criterios de selección</b>	<b>Factor</b>	<b>Ponderación (%)</b>	<b>Generador A</b>	<b>Generador B</b>
1. Vida útil	A	18%	0,36	0,36
2. Potencia	B	21%	0,42	0,00
3. Voltaje	C	14%	0,28	0,00
4. Dimensiones	D	12%	0,24	0,24
5. Peso	E	7%	0,00	0,14
6. Mantenimiento	F	14%	0,28	0,28
7. Resistencia a la corrosión	G	14%	0,28	0,28
<b>Total</b>			<b>1,86</b>	<b>1,30</b>

Basándonos en los criterios de selección de la tabla anterior para poder determinar el generador de energía que se utilizará en el establo Monteverde, la alternativa del “generador A” representa el equipo preferido por su eficiencia al dar énfasis en su elección, esto quiere decir que podrá generar energía a través del biogás, atendiendo la demanda para el área de ordeño mecánico.

#### d. Tuberías

Para el caso de las tuberías de conducción de biogás, en específico por el contenido de metano que tendrá el sistema, la tubería de conducción de biogás será de PVC, polietileno de alta densidad, polipropileno o cualquier otro material que resista la corrosión. La tubería de presión de PVC resulta adecuada para esta finalidad, ya que presenta las ventajas siguientes: resistente a la corrosión, facilidad de instalación y menores precios. Su desventaja radica en la necesaria protección contra los rayos solares y el movimiento de animales y transporte pesado.

El diámetro de la tubería será de 1 pulgada, ya que la presión que ésta ejercerá sobre el gas será constante, la longitud de la tubería desde el biodigestor hasta el tanque de almacenamiento será de 3 m; y por último la longitud del tanque de almacenamiento hasta el generador de energía será de 5 m, puesto que no deberá existir contacto alguno entre ambos por motivos de seguridad, ya que el gas es un producto inflamable (Tapia, 2016).

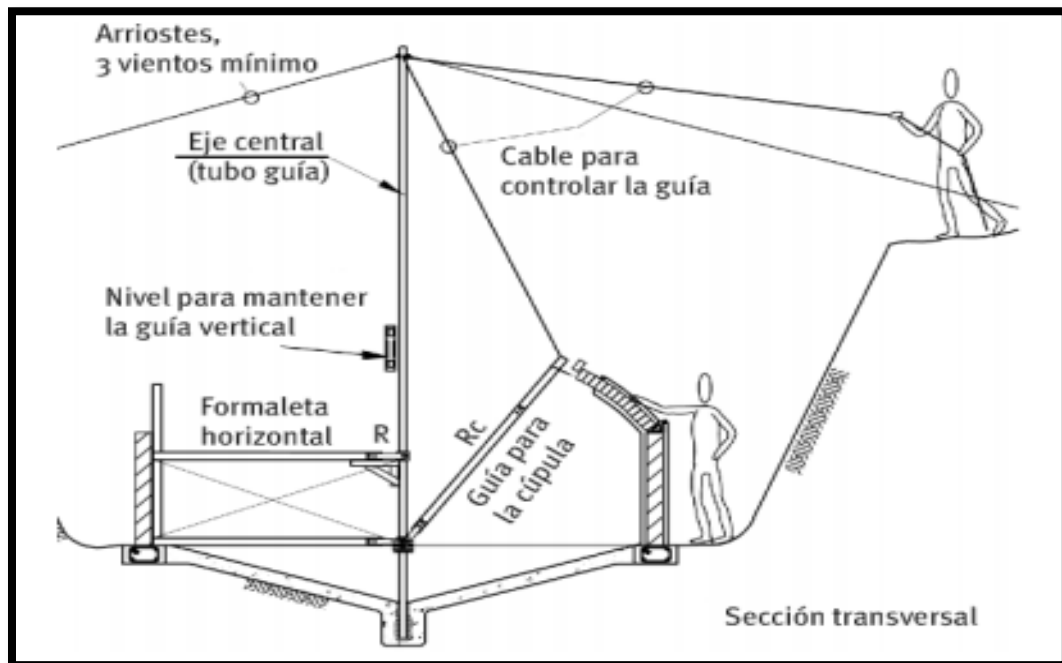


**Figura N° 24:** Tubos de PVC para gas

### 3.3.5. Consideraciones para el diseño estructural de un sistema de biogás

#### a. Placa de fondo

La placa o losa de fondo constituye la cimentación de la obra y es la encargada de repartir y transmitir al suelo soportante todo el peso de la estructura, además de garantizar, a la vez, la necesaria estabilidad y solidez de la obra en su conjunto. Mientras mayor rigidez posea esta losa, menor será la posibilidad de que ocurran asentamientos diferentes, deformaciones indeseables que puedan originar fisuras y, en general, mayor uniformidad en la distribución de las cargas y en las condiciones de trabajo a que se somete el suelo sobre el cual se levanta la obra.



**Figura N° 25:** Ejecución de las partes principales de una planta de biogás.

**Fuente:** Guardado, 2007.

Por otra parte, el área que bordea la losa desempeña un papel fundamental en la magnitud de las tensiones que finalmente se transmiten al suelo, siendo estas menores en la medida en que dicha área aumente. No obstante, el adecuado diseño de la losa de fondo debe estar, en todos los casos, basado en dependencia del tipo de suelo sobre el que se va a cimentar la obra y en estrecha relación con el aspecto económico, en lo

que a cantidad y tipo de materiales de construcción se refiere. Como regla, para la construcción de la losa de fondo deberán emplearse materiales locales. Por razones de rentabilidad se recomienda, según el caso, el empleo de los materiales siguientes:

- Piedra de hormigón con relleno de mortero y lechada de cemento.
- Mampostería de ladrillo con repello de cemento.
- Hormigón armado.

En suelos blandos se requiere de una losa que posea una rigidez mayor, capaz de repartir lo más uniformemente posible las cargas y que no se deforme ni fisure por asentamientos del subsuelo. Para ello se recomienda el empleo de losas de hormigón simple o armado, así como la conformación de losas cónicas, con las que se alcanza mayor rigidez con menor espesor de la losa, en comparación con los espesores necesarios que requerirían losas circulares planas.

En suelos más compactos o de mayor resistencia, como los compuestos por arcillas compactas, areno-arcillosos o rocas fragmentadas o blandas, se debe emplear losas de piedra de hormigón o macadán con relleno de mortero. En estos casos, al igual que en los de suelos blandos, se recomienda que la losa sea cónica; en el perímetro exterior se conforma un «tacón», o anillo exterior de hormigón armado, que refuerza la capacidad de carga y aumenta la rigidez de la placa.

En suelos de gran resistencia, como los rocosos, se permite el empleo de losas de mampostería o de cantos, combinadas con sus sellos de mortero y una zapata o anillo circular para apoyo de la cúpula o muros.

En suelos considerablemente blandos, como es el caso de los arcillosos, lodo, etc., se debe colocar una capa de arena de 10 a 20 cm de espesor en la superficie de contacto entre el suelo y la losa de fondo, previamente compactado y nivelado. En todos los casos, antes de efectuar la fundición de la losa deberá comprobarse que la superficie sobre la cual se va llevar a cabo la fundición esté perfectamente nivelada, uniforme y limpia. (Guardado, 2007).

## **b. Mampostería y mortero**

El mortero y los ladrillos deben tener, más o menos, la misma solidez. Si los ladrillos son blandos, el mortero tampoco puede ser muy duro. El mortero de cemento siempre debe estar elaborado con una adición de cal, pues de esta forma la mezcla obtenida es más fácil de trabajar, además de que se logra una mejor impermeabilidad en el elemento o en la superficie en que se aplica.

La parte más importante del mortero es la arena. Esta debe estar limpia, y no debe contener arcilla, ni polvo, ni materia orgánica. La arena con un alto contenido de polvo o arcilla absorbe mucho más cemento para lograr una misma resistencia, en relación con la arena limpia. La arena debe contener un máximo de 10 % de polvo o arcilla. Si el contenido es más alto, la arena debe ser lavada. Con lejía de sosa se puede comprobar si ésta contiene mucha materia orgánica.

El mortero de cemento puede prepararse en distintas proporciones o relación de mezcla arena-cemento-cal, en función del elemento o lugar de la obra donde será aplicado. Entre estas relaciones se pueden mencionar las indicadas en la siguiente tabla:

**Tabla N° 30:** Proporciones recomendadas para la preparación de morteros

<b>Elemento</b>	<b>Relación arena – cemento – cal</b>
<b>Mortero de relleno en piso, muros de bloque, etc.</b>	5:1: (0,5)
<b>Repello de muros (exteriores)</b>	6:1: (0,3)
<b>Repellos en general</b>	4:1: (0,3)
<b>Cúpula de mampostería</b>	4,5:1: (0,5)
<b>Enlucidos</b>	3:1: (0,3 – 0,5)

**Fuente:** Guardado, 2007.

En los repellos y la conformación de muros generalmente se utiliza mortero con relación 4:1, con arena que pase por el tamiz de 3 m m. En el caso de muros verticales, en lugar de ladrillos pueden emplearse bloques de hormigón entre 0,15 y 0,20 m de espesor, aunque en estos casos generalmente resulta más costoso que si se emplearan ladrillos.

Cuando se utilizan bloques en los muros del biodigestor, la literatura recomienda que sean «macizados» con mortero de cemento, con una relación de 5:1 o 6:1. No obstante, en la provincia de Villa Clara se han construido plantas con muros de bloques no macizados sin que se hayan apreciado fallas o problemas por mala impermeabilización. (Guardado, 2007).

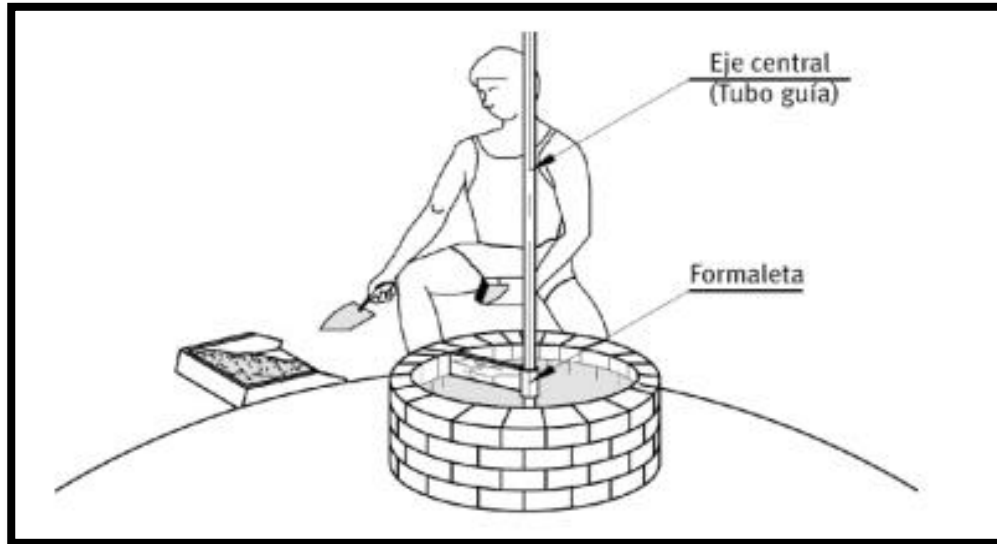
### **c. Casco esférico o cúpula de mampostería**

El casco esférico o cúpula tiene la función de constituir la cubierta o tapa del reservorio o tanque donde se almacena el cieno de fermentación para su digestión y su descomposición para la obtención del biogás, o sea, la cubierta del biodigestor. En la práctica generalizada de construcción de plantas de biogás ha prevalecido y se impone la construcción de esta cubierta en forma de cúpula y, en algunos casos, de bóveda (en biodigestores no circulares), debido a su relativamente fácil ejecución, ya que no requiere de encofrados y permite la utilización de ladrillos, así como el ahorro de materiales que se alcanza y el efecto que se logra con esta forma en el aprovechamiento del volumen de gas almacenado y la distribución de cargas estáticas en los muros y cimientos de la obra.

Es importante destacar que en el espacio que encierra la cúpula del biodigestor es donde generalmente se acumula o almacena durante mayor o menor tiempo el biogás que se desprende de la biodigestión del cieno fermentado. Por ello resulta muy importante para el funcionamiento adecuado y la eficiencia de la planta, la calidad con que se construya dicha cúpula.

Un casco esférico es fácil de construir porque el radio siempre parte del mismo punto central. Una vara de una medida o longitud constante es el único utensilio que se necesita, fijada en uno de sus extremos al punto geométrico que sirve de centro o foco de la cúpula. Mediante el movimiento rotatorio circular desde el muro de apoyo hasta la boca o cuello final del extremo libre de la vara, se va determinando la posición y colocando los ladrillos hasta que queda conformada la cúpula.

En la parte superior de la cúpula, cuando el ángulo de inclinación de la vara es superior a  $45^\circ$  con respecto a la horizontal, generalmente se recomienda sujetar el primer ladrillo de cada camada mediante ganchos preparados al efecto, hasta que el próximo ladrillo quede colocado. Esto es necesario porque la inclinación que va alcanzando la pared de la cúpula provoca inestabilidad y deslizamiento del ladrillo debido a la colocación del siguiente. Una vez levantada la cúpula, interior y exteriormente, se recubren las superficies con repello grueso y fino, y en la superficie interior se realiza un estucado, sobre el cual se aplican una o dos manos de pintura impermeabilizante. En ocasiones el estucado puede aplicarse, además, en la superficie interior de los muros. (Guardado, 2007).

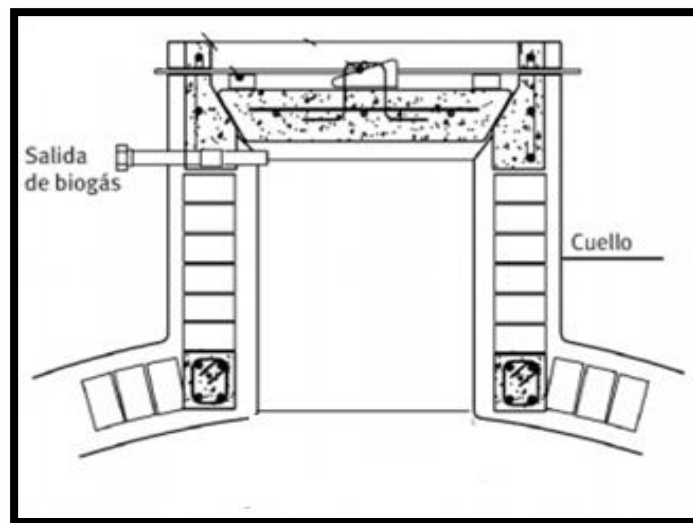


**Figura N° 26:** Ejecución y terminación del cuello típico para una planta de biogás

**Fuente:** Guardado, 2007.

#### **d. Cuello**

El cuello del biodigestor está constituido por un muro cilíndrico compuesto por dos secciones (según la solución de que se trate).



**Figura N°27:** Cuello para una planta de biogás, que permite el acceso y la extracción del biogás.

**Fuente:** Guardado, 2007.

El cuello se conforma también con mampostería de ladrillos, repellados por ambas superficies (interior y exterior) con repello grueso y fino. Tiene como función permitir el acceso o visión al interior del biodigestor, a la vez que en él se coloca la tubería que recoge el biogás acumulado en el interior de la cúpula.

Es importante destacar que sobre el cuello se sitúa una tapa de cierre, que debe garantizar una hermeticidad perfecta, a fin de que no ocurra escape del biogás acumulado en el interior.

El cuello del biodigestor está cerrado arriba con una tapa removible de hormigón armado de 10 cm de grosor. El cuello se construirá en dos secciones, primero con ladrillos y después con hormigón armado. (Guardado, 2007).

Para la realización del cuello del biodigestor se tomará como referencia las medidas boca hombre de un tanque cualquiera.

### **3.3.6. Dimensiones para hallar el espacio requerido de los equipos dentro del establo Monteverde.**

#### **Método de Guerchet.**

Se utiliza este método para poder hallar los requerimientos de espacios físicos que se requerirán en el establo Monteverde, para ello es necesario identificar el número total de maquinarias y/o equipos que se utilizará en este proyecto como son el biodigestor, el tanque de almacenamiento y el generador de energía; entonces tenemos la siguiente fórmula:

$$S_t = N(S_s + S_g + S_e)$$

#### **Donde:**

$N$  = número de elementos móviles o estáticos de un tipo

$S_t$  = Superficie total

$S_s$  = Superficie estática

$$S_s = L \times a$$

$S_g$  = Superficie de gravitación

$$S_g = S_s \times n$$

$n$  = número de lados del equipo

$S_e$  = Superficie de evolución

$$S_e = (S_s + S_g)k$$

$$k = \frac{h_1}{2 \times h_2}$$



$h_1$  = altura promedio ponderada de los elementos móviles

$h_2$  = altura promedio ponderada de los elementos estáticos

### Consideraciones:

Según Guerchet, nos dice que los equipos cuya vista en planta sea en círculo (tanques, entre otros), normalmente se considera  $n=2$  y la fórmula  $\pi r^2$  para el cálculo de la superficie estática; y con respecto a los valores típicos de “k” se trabajará con 0,05 si hay poca gente ó 0,15 si hay más movimiento.

En la tabla N°31 se presenta de forma detallada las dimensiones de los equipos, como el biodigestor con un radio de 6,38m (ver figura N°13), también el tanque de almacenamiento y el generador de energía ambos con sus respectivos valores, los cuales se sacaron de las especificaciones de cada producto.

**Tabla N° 31:** Dimensiones de los equipos

Equipos	Dimensiones de los equipos			
	Largo	Ancho	Radio	n (lados)
Biodigestor	X	X	6,38 m	2
Tanque de almacenamiento	7 m	2,5 m	X	4
Generador de energía	1,6 m	0,6 m	X	4

A continuación en la siguiente tabla, se procede a realizar los cálculos correspondientes conjuntamente con los datos de la tabla N°31 para así hallar la superficie de los equipos, teniendo en cuenta que  $n=2$  y el valor típico de k será de 0,05; entonces tenemos lo siguiente:

**Tabla N° 32:** Cálculo para hallar la superficie de los equipos

Equipos	$S_s$	$S_g$	$S_e$	$S_t$
<b>Biodigestor</b>	$127,87 \text{ m}^2$	$255,74 \text{ m}^2$	$19,18 \text{ m}^2$	$402,79 \text{ m}^2$
<b>Tanque de almacenamiento</b>	$17,5 \text{ m}^2$	$70 \text{ m}^2$	$4,37 \text{ m}^2$	$91,87 \text{ m}^2$
<b>Generador de energía</b>	$0,96 \text{ m}^2$	$3,84 \text{ m}^2$	$0,24 \text{ m}^2$	$5,04 \text{ m}^2$
<b>Superficie total</b>				<b><math>499,7 \text{ m}^2</math></b>

### Regresión:

Una vez hallado las superficies totales de los equipos se procede a calcular las dimensiones de los espacios que se van a utilizar dentro del establo como el biodigestor, el tanque de almacenamiento y el generador de energía, en donde tenemos que:

#### a. Radio de la superficie del biodigestor:

$$\begin{aligned}\pi r^2 &= 402,79 \text{ m}^2 \\ r &= \sqrt{\frac{402,79 \text{ m}^2}{\pi}} \\ r &= 11,33 \text{ m}\end{aligned}$$

#### a. Dimensionamiento de la superficie del tanque de almacenamiento:

$$l \times a = 91,87 \text{ m}^2$$

$$\frac{l}{a} = \frac{7 \text{ m}}{2,5 \text{ m}}$$

$$l = 2,8a$$

$$2,8a \times a = 91,87 \text{ m}^2$$

$$a^2 = 32,81 \text{ m}^2$$

$$a = 5,73 \text{ m}$$

Entonces el valor de “l” será:

$$l = 16,04 \text{ m}$$

**b. Dimensionamiento de la superficie del generador de energía:**

$$l \times a = 5,04 \text{ m}^2$$

$$\frac{l}{a} = \frac{1,6 \text{ m}}{0,6 \text{ m}}$$

$$l = 2,67a$$

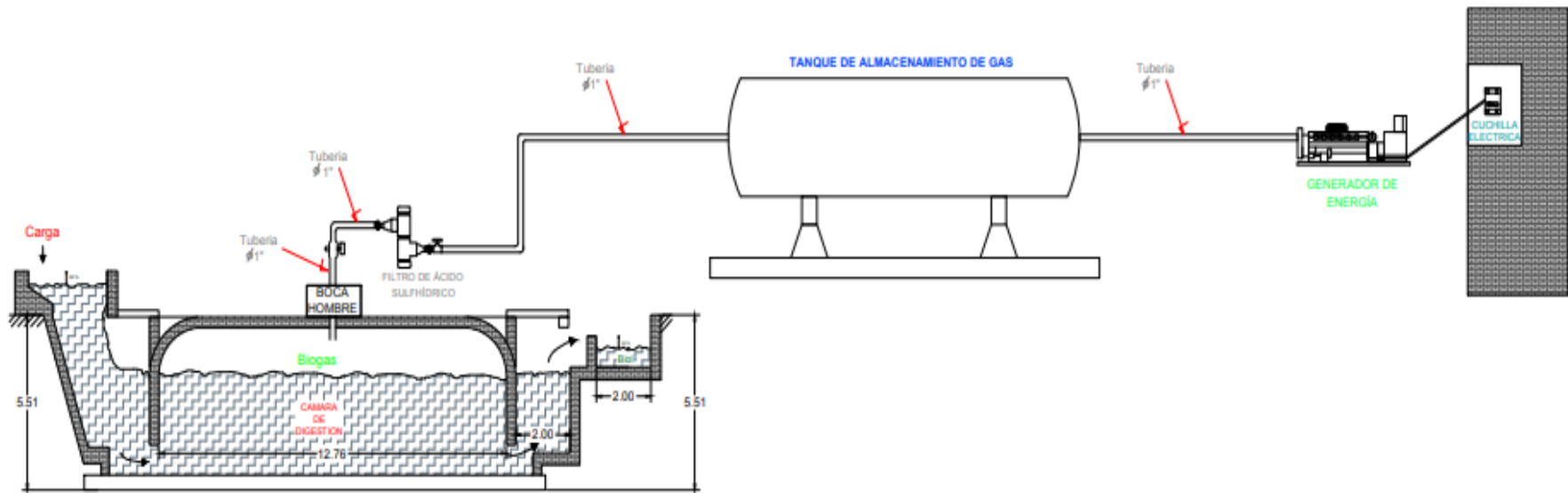
$$2,67a \times a = 5,04 \text{ m}^2$$

$$a^2 = 1,88 \text{ m}^2$$

$$a = 1,37 \text{ m}$$

Entonces el valor de “l” será:

$$l = 3,66 \text{ m}$$



	<b>PROYECTO DE TESIS</b> PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE EXCRETAS DEL GANADO BOVINO DEL ESTABLO MONTEVERDE PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA Y SU USO EN EL ORDENO MECÁNICO	<b>PL-01</b>
	<b>CARLOS FELIPE PRETELL SAMAN</b>	1700
INGENIERÍA INDUSTRIAL	II	763014
QUILCAYO	QUILCAYO	LAMBAYEQUE
2016	2016	NOVIEMBRE 2016

### 3.3.7. Materiales de construcción para el biodigestor campana fija

Para la construcción del biodigestor cúpula o campana fija, por ser de tipo subterránea es necesario contar con materiales que soporten su estructura, para ello se utilizarán los siguientes materiales.

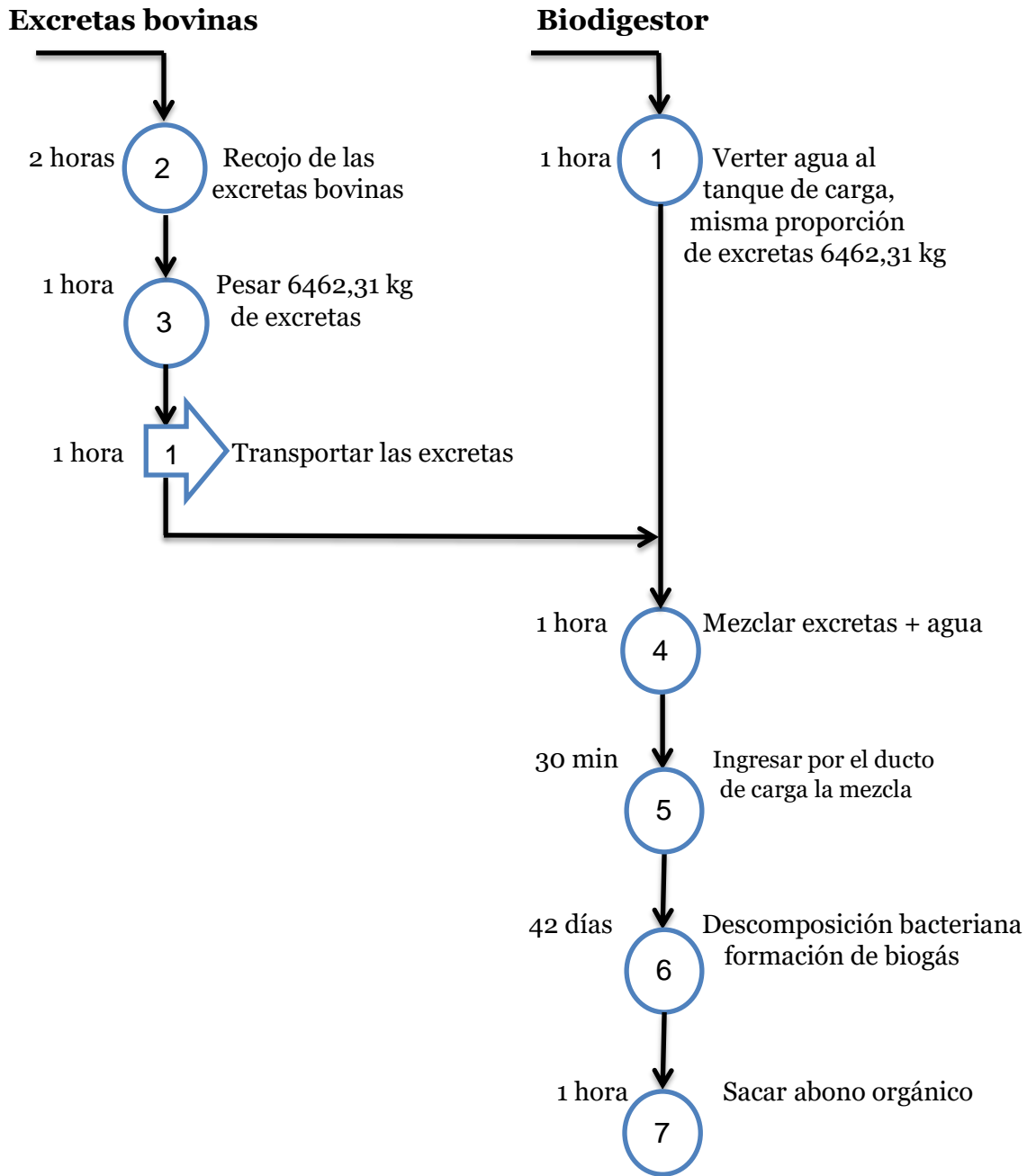
**Tabla N° 33:** Materiales de construcción

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad unidad/medida</b>
<b>Cemento</b>	112 bolsas
<b>Arena gruesa</b>	22 cubos
<b>Arenilla</b>	8 cubos
<b>Ladrillo macizo</b>	11 692 unid.
<b>Fierro de <math>\frac{3}{8}</math> in</b>	6 unid.
<b>Fierro de <math>\frac{1}{2}</math> in</b>	48 unid.
<b>Tubos 1 in</b>	2 unid.
<b>Codos 1 in</b>	3 unid.

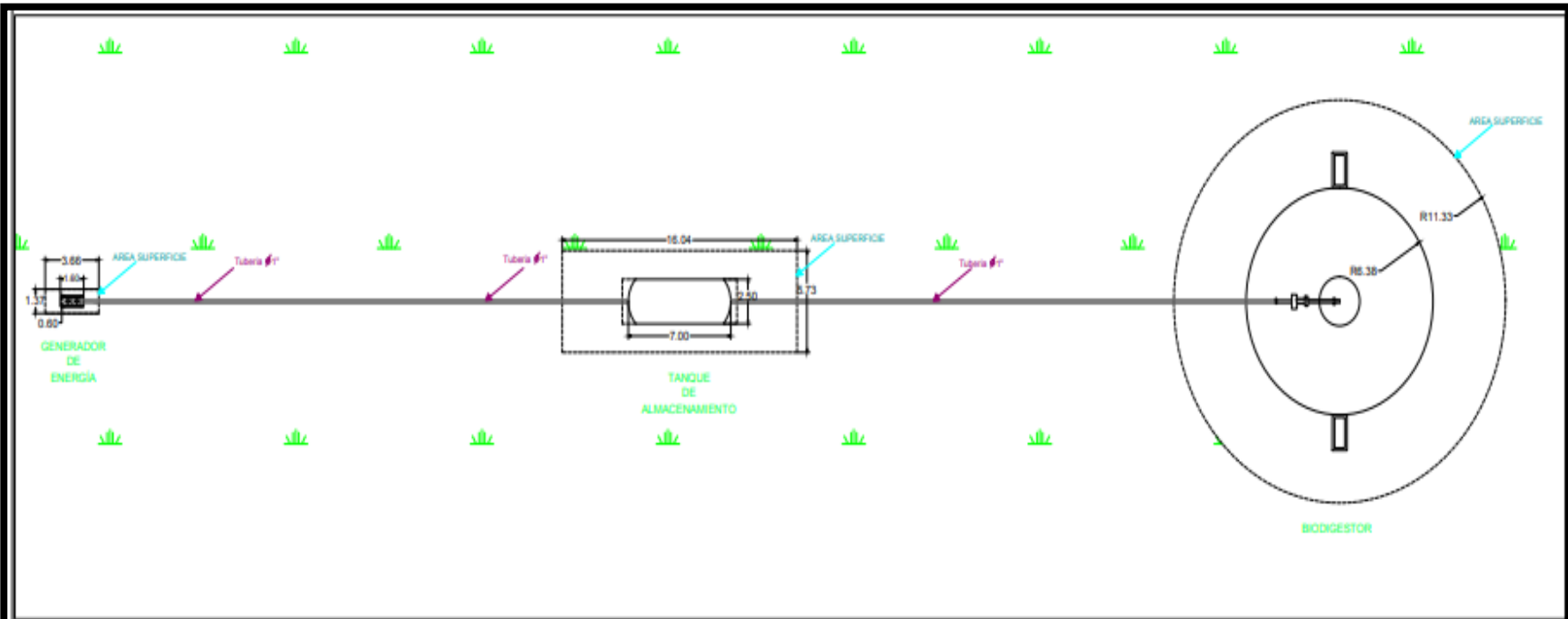
**Fuente:** Guardado, 2007

Estos materiales fueron consultados a varios maestros de construcción para estimar un aproximado de lo que necesitaría este biodigestor. También se calculó para saber las cantidades de los materiales, ver anexo 6.


### 3.3.8. Diagrama de operaciones de proceso para el recojo de excretas.



Resumen		
Actividad	Cantidad	Tiempo
Operación	7	42 días con 6 horas y 30 min
Transporte	1	1 hora



AREA DE EQUIPOS: 499.70 m<sup>2</sup>

	<b>PROYECTO DE TESIS</b> PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE EXCRETAS DEL GANADO BOVINO DEL ESTABLO MONTEVERDE PARA LA GENERACIÓN DE ENERGIA Y SU USO EN EL ORDENO MECÁNICO	<b>PL-02</b>
	TITULAR: <b>CARLOS FELIPE PRETELL SAMAN</b>	ESCUELA: INGENIERIA INDUSTRIAL
CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL	SEMESTRE: X	DISEÑADO POR: TERCERA
DISTRITO: CHICLAYO	PROVINCIA: CHICLAYO	DEPARTAMENTO: LAMBAYEQUE
FECHA: NOVIEMBRE 2019		

### **3.4. Análisis costo - beneficio de la propuesta para la instalación de un sistema generador de biogás.**

Las instalaciones de sistemas de biogás se construyen principalmente para la producción de biogás, la generación de energía eléctrica y la producción de abono orgánico de origen animal que contiene nutrientes además de microorganismos benéficos para las plantas y el suelo. En base a los objetivos anteriormente trazados, se deben considerar los siguientes factores que tienen influencia en la rentabilidad de un sistema de biogás. Por un lado, están los costos de inversión, la producción de biogás, la calidad del biogás y las especificaciones o características de la unidad de generación de energía eléctrica.

La mayor influencia en la rentabilidad de un proyecto la tiene la unidad de generación de energía eléctrica, seguido de la producción y la calidad del biogás y los costos de inversión. Por esta razón se seleccionó un generador para satisfacer la demanda energética del ordeño mecánico, para ello hay que verificar los costos que ocasionará la conexión a este sistema.

Entonces para hallar los costos de inversión se puede calcular con bastante exactitud. Estos costos dependen, dentro de otros aspectos, del tipo de la biomasa, del tipo de biodigestor y de la potencia a instalar. “En principio se puede afirmar que a mayor volumen del sistema de biogás menores serán los costos de inversión por  $m^3$  de digestor o  $m^3$  de biomasa aprovechada. En países Latino Americanos los costos de inversión de plantas de biogás para la generación de energía eléctrica están en el orden de 1200 - 2500 US por kW instalado, dependiendo de si los digestores se construyen con geo membrana, acero u hormigón armado”.

Para determinar los costos de instalación del sistema de un generador de biogás, es necesario considerar la profundidad del pozo a perforar, y para ello se realizarán los siguientes cálculos: volumen de suelo a remover, número de ciclos de operación, tiempo de ciclo, tiempo estándar, tiempo de perforación y el costo de perforado y así saber cuánto nos costará.

También se tendrá que hallar los costos de construcción del biodigestor incluyendo los materiales, los costos del tanque de almacenamiento del gas y el costo del generador de energía, en este sentido se procedió a determinar lo siguiente:



### 3.4.1. Profundidad del pozo a perforar

#### a. Volumen de suelo a remover:

Considerando que el equipo técnico está diseñado para perforar suelos en la costa del Perú, se debe tener en cuenta que estos tipos de suelos son de origen aluvial y que el objetivo de la perforación es la extracción de tierra con fines de construir el biodigestor, en este sentido se consideró una profundidad de perforación hasta 5,11 m.

$$V_{suelo\ compacto} = \frac{\pi}{4} (12,76m)^2 (5,11m) = 653,45m^3$$

Asumiendo un porcentaje del 50% de expansión (Chapman, 2006), tenemos un volumen de suelo suelto a remover de:

$$V_{suelo\ suelto} = 1,5(653,45) = 980,17 m^3$$

Si se trabaja con una eficiencia del 75% de su capacidad real (Chapman, 2006), tenemos una capacidad de trabajo de:

$$Capacidad\ efectiva\ del\ biodigestor = (0,75)(13,66m^3) = 10,25m^3$$

#### b. Número de ciclos de operación:

El número de ciclos de operación se refiere al número de veces que se debe introducir la canastilla en el pozo para remover un volumen de suelo de  $980,17 m^3$  de suelo suelto.

$$N\ ciclos = \frac{980,17m^3}{10,25m^3} = 95,63\ ciclos$$

**c. Tiempo de ciclo (TC):**

El tiempo de ciclo comprende los tiempos de carga y descarga de los sedimentos más los tiempos muertos. El tiempo de carga y descarga están relacionados directamente con la profundidad e inversamente con la densidad del lodo. En la tabla N°30 podemos ver que el tiempo de un ciclo es de 15 minutos y corresponde al tiempo normal considerando un factor de calificación de los operarios de 1 y que incluye además los cuatro minutos de tiempo ocioso.

$$Tiempo\ normal\ (TN) = TC \times 1 = 15\ min \times 1 = 15\ min$$

**d. Tiempo estándar (TE):**

El tiempo estándar incluye un porcentaje del tiempo normal que corresponde a holguras por efecto de fatiga, necesidades personales etc. Para fines de diseño se ha considerado un tiempo de holgura del 15% del tiempo normal (Chapman, 2006). Por lo que se tiene un tiempo estándar de 17,25 min por ciclo.

$$TE = TN + TN(0,15) = 15 + 15(0,15) = 17,25\ min$$

**e. Tiempo de perforación:**

Considerando además que en una jornada laboral de 8 horas se realiza un mantenimiento del equipo durante 30 min, se tiene 450 min/día para la operación con el equipo (Chapman, 2006), es decir se realizan 26,08 ciclos por día.

$$N_{ciclos/día} = \frac{450\ min}{17,25\ min} = 26,08\ \frac{ciclos}{día}$$
$$N\ días = \frac{95,63\ ciclos}{26,08\ \frac{ciclos}{día}} = 3,67\ días \cong 4\ días$$

**Tabla N° 34:** Diagrama de proceso del hombre - máquina, para la operación de perforación

<b>Máquina excavadora</b>		<b>Operario 1</b>		<b>Volquete</b>		<b>Operario 2</b>	
<b>Operación</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Operación</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Operación</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Operación</b>	<b>Tiempo</b>
Remueve tierra	3 min	Mueve el brazo de la máquina excavadora	3 min	Se ubica para recibir los sedimentos	2 min	Se dirige hacia la máquina excavadora	2 min
Excavar la tierra	3 min	Mueve el brazo de la excavadora para excavar	3 min				
Carga los sedimentos	3 min	Acciona el brazo de la excavadora para cargar los sedimentos	3 min	Recibe descarga de sedimentos	2 min	Se posiciona para recibir descarga de sedimentos	2 min
Descarga los sedimentos en el volquete	2 min	Acciona el brazo para descargar sedimentos	2 min	Se conduce a votar los sedimentos	10 min	Se conduce a votar los sedimentos	10 min
Tiempo de trabajo producido	= 11 min		11 min		14 min		14 min
Tiempo ocioso	= $\frac{4 \text{ min}}{15 \text{ min}}$		$\frac{4 \text{ min}}{15 \text{ min}}$		$\frac{1 \text{ min}}{15 \text{ min}}$		$\frac{1 \text{ min}}{15 \text{ min}}$
Tiempo total del ciclo	= 15 min		15 min		15 min		15 min

#### **f. Costo de perforado:**

Considerando 4 días de trabajo, una máquina excavadora y un volquete para sacar la tierra el costo del perforado está dado por:

$$\text{Costo de perforado} = (S/.100 + S/.100)(4 \text{ días}) = S/. 800$$

**Nota:** Los S/. 100 es el costo por la hora de cada máquina alquilada.

#### **3.4.2. Costos de construcción del biodigestor:**

Los costos de construcción se refieren a todos los egresos relacionados con la construcción misma del sistema de biogás, costos de mano de obra, obras civiles, materiales, equipos e instalaciones. Estos costos serán estimados cotizando en empresas especialistas relacionadas y comparando con otros proyectos de similar envergadura.

Los costos de construcción del biodigestor (campana fija) incluyen costos de los materiales, tanque de almacenamiento de gas, generador de energía y el filtro de sulfuro de hidrógeno. El costo del biodigestor asciende a S/. 58 513,91 nuevos soles como se muestra en la tabla N° 35 y la mano de obra S/. 4500 nuevos soles como se aprecia en la tabla N°36.

Los costos de los materiales en nuevos soles fueron cotizados en la tienda SODIMAC de la ciudad de Chiclayo; el costo del tanque de almacenamiento se cotizó en soles en la empresa Luqiang Energy Equipment Co., Ltd., y para el generador de energía se cotizó en soles en la empresa de Taizhou Taifa New Energy Science Co., Ltd ambas en China.

Las cantidades que se van a utilizar para la construcción, el costo de la mano de obra y el tiempo para realizar el proyecto se le cotizó a un albañil y los cálculos correspondientes para determinar las cantidades de los materiales se pueden ver en el anexo 6.

**Tabla N° 35:** Costo de materiales y equipos

Descripción	Cantidad unid/med.	Precio unid. (S/.)	Precio total (S/.)
<b>Cemento</b>	112 bolsas	18,70	2094,4
<b>Arena gruesa</b>	22 cubos	49,90	1097,8
<b>Arenilla</b>	8 cubos	44,90	359,2
<b>Ladrillo macizo</b>	11 692 unid.	0,63	7365,96
<b>Fierro de 3/8 in</b>	6 unid.	13,17	79,02
<b>Fierro de 1/2 in</b>	48 unid.	24	1152
<b>Tubos 1 in</b>	2 unid.	5,60	11,2
<b>Codos 1 in</b>	3 unid.	3,90	11,7
<b>Trampa de sulfuro de hidrógeno</b>	1 unid.	348,35	348,35
<b>Generador de energía</b>	1 unid.	15 554,28	15 554,28
<b>Tanque de almacenamiento del gas</b>	1 unid.	30 450	30 450
<b>Total =</b>			<b>58 513,91</b>

Fuente: Guardad, 2007

**Tabla N° 36:** Costo de mano de obra

Descripción	Personas	Precio unid. S/. Personal – día	N° días	Precio total S/.
<b>Construcción del biodigestor</b>	2	50	30	3 000
<b>Construcción de los depósitos de carga y descarga</b>	2	50	15	1 500
<b>Total =</b>				<b>4500</b>

Fuente: Olaya, et al. 2009

### 3.4.3. Costos de inversión para la instalación de un sistema de biogás

Los costos de inversión constituyen principalmente los egresos relacionados con la construcción y puesta en marcha de un sistema de biogás y los costos de conexión al área de ordeño mecánico. Las instalaciones de las tuberías se programaron para 10 días con un costo de S/. 2000, este valor se cotizó por medio de un técnico del establo Monteverde. En la tabla N° 37 se muestra la inversión inicial del proyecto.

La inversión será asumida por los socios capitalistas del establo Monteverde, ya que este proyecto es interés propio de los mismos.

**Tabla N° 37: Inversión inicial**

<b>Descripción</b>	<b>Valor (S/.)</b>
<b>Costos de perforado</b>	800
<b>Costos de materiales y equipos</b>	58 513,91
<b>Costo de mano de obra</b>	4 500
<b>Costo de instalaciones de tuberías</b>	2000
<b>Total (S/.)</b>	<b>65 813,91</b>

Elaboración propia

### 3.4.4. Depreciación de las instalaciones

Hay que considerar los costos de depreciación de las instalaciones. Esto comprende la depreciación de las edificaciones, maquinaria y equipos y en particular de la unidad de generación. A continuación, se exponen los porcentajes anuales de depreciación generalmente aplicados en este tipo de proyectos.

**Tabla N° 38:** Porcentajes anuales de depreciación y años de vida del equipo

<b>Porcentajes de depreciación de instalaciones</b>		
<b>Estructuras – equipos</b>	<b>% anual</b>	<b>Años de depre.</b>
Edificaciones, galpones de generación, oficinas.	4	25
Digestores, tanques de alimentación y descarga, etc.	5	20
Membrana de cubierta, tanques de almacenamiento biogás.	10	10
Equipo electromecánico, bombas, sopladores, filtros de $H_2S$ .	20	5
Tubería y accesorios	10	10
Motores y generadores	20	6

**Fuente:** Tarquin, 2002.

### 3.4.5. Análisis de costo beneficio

Dado que el requerimiento del área de ordeño mecánico es de 8 135 kWh y el costo de energía en kWh es de S/. 0,5639 nuevos soles (Central Hidroeléctrica Hidrandina), el establo ahorraría mensualmente S/. 4 587,33 nuevos soles en pagos de consumo de energía pública, entonces tenemos:

$$\text{Ahorro mensual} = 0,5639 \times 8\ 135 = S/. 4\ 587,33$$

$$\text{Ahorro anual} = 4\ 587,33 \times 12 = S/. 55\ 047,96$$

$$\text{Ahorro en 3 años} = 55\ 047,96 \times 3 = S/. 165\ 143,88$$

Por lo tanto en la siguiente tabla se recoge todo lo mencionado anteriormente:

**Tabla N° 39:** Beneficio

<b>Datos para obtener el beneficio</b>	<b>Valores</b>
<b>Costo energía por kWh</b>	0,5639
<b>Consumo de energía kWh (mes)</b>	8 135
<b>Ahorro mensual (S/.)</b>	4 587,33
<b>Ahorro anual (S/.)</b>	55 047,96
<b>Ahorro total en 3 años (Beneficio) (S/.)</b>	165 143,88

Elaboración propia

Analizando la tabla anterior tenemos como resultado S/. 165 143,88 nuevos soles que el establo Monteverde tendrá como beneficio, es decir en 3 años tendrá un ahorro significativo de dinero. El tiempo de recuperación del proyecto es de un 1 año y 3 meses.

Ahora hallando el beneficio costo tenemos:

$$\frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} = \frac{S/.165\ 143,88}{S/.65\ 813,91}$$

$$\frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} = S/.2,51$$

Los resultados obtenidos en el cálculo costo beneficio, representa que por cada sol que se invierta en el proyecto, se pueden obtener ganancias de S/. 2,51; es decir que con la inversión de S/. 65 813,91 se obtendrán S/. 165 143,88 nuevos soles.

Además, se pudo establecer una tasa efectiva anual de 16% que permite poder pagar un préstamo en un periodo de 1 año con 3 meses, que corresponden a 15 meses (Banco de crédito BCP), para pagar la inversión de S/65 813,91 nuevos soles. Todo esto se recoge en la siguiente tabla:

**Tabla N° 40: Financiamiento**

<b>Financiamiento</b>	
<b>Préstamo (S/.)</b>	65 813,91
<b>Periodo (meses)</b>	15
<b>Tasa efectiva anual (T.E.A)</b>	16%
<b>Resultados del financiamiento</b>	
<b>Pago mensual sin tasa (S/.)</b>	4 387,59
<b>Intereses mensual con tasa (S/.)</b>	702,02
<b>Cuota mensual (S/.)</b>	5 089,61
<b>Cuota en 38 meses (S/.)</b>	76 344,15

Elaboración propia



### **3.4.6. Análisis de sostenibilidad ambiental**

Para la realización de esta propuesta se evaluó los elementos y características ambientales, tales como las características físicas y químicas, las condiciones biológicas, los factores culturales y las relaciones ecológicas, que se encuentran involucrados dentro del proyecto para poder identificar los impactos que se pueden presentar durante la etapa de la construcción y la etapa de funcionamiento, que se generarían dentro de la propuesta para la instalación de un sistema generador de biogás.

Las cuales se analizará en el contexto de una “matriz de Leopold” que sirve para identificar impactos y su origen, pero permite estimar la importancia y magnitud de los impactos. Estos enlaces hacen que tenga que mirarse la sostenibilidad ambiental en el espacio de esta interfaz para poder identificar los efectos que se pueden presentar durante la propuesta.

A continuación, en la tabla N°41 se puede apreciar la matriz de Leopold generalmente aplicados en este tipo de proyectos.

Tabla N° 41: Matriz de Leopold

Actuaciones propuestas causantes de posibles impactos ambientales			Etapa de construcción								Etapa de funcionamiento				Evaluaciones			
			Remoción de la capa superficial del suelo	Excavación subterránea	Materiales de construcción para un biodigestor	Instalación de una trampa de ácido sulfhídrico	Instalación de un tanque de almacenamiento de biogás	Instalación de un generador de energía	Caminos y/o señalizaciones	Barreras, incluyendo cercas	Recojo y peso de las excretas bovinas	Tratamiento bacteriano de las excretas bovinas	Obtención de biogás	Obtención de abono orgánico		Generación de energía eléctrica		
Elementos y características ambientales																		
Factores ambientales	Características físicas y químicas	Suelo	Calidad del suelo	-1/3	-2/3	-1/3				-1/1	-1/2	2/5				-5		
			Geomorfología	-1/3	-2/3	-1/3	-1/1	-2/3	-1/3	-1/1	-1/2	2/5					-15	
			Vibraciones	-1/1	-3/2													-6
			Erosión		-1/1													-1
		Agua	Aguas subterráneas															
			Aguas superficiales															
			Consumo de agua															
		Aire	Calidad del aire	-2/3	-2/4								2/5					-4
			Material particulado	-2/3	-2/4								-1/2					-16
			Ruido	-2/3	-2/4					-1/2							-2/4	-24
Factores ambientales	Condiciones biológicas	Flora	Árboles															
			Arbustos															
			Hierbas															
			Cosechas												3/4			12
	Fauna	Aves	-1/1	-1/1													-2	
		Animales terrestres, incluso reptiles	-1/1	-1/1													-2	
	Factores culturales	Estéticos y de interés humano	Calidad de paisajes	-1/2	-1/2			-3/5			-1/2	2/5					-11	
			Nivel cultural	Salud y seguridad	-1/2	-1/2			-2/4	-1/3			-1/2	-1/2	-1/2		-1/2	-23
		Empleo		2/5	2/5	2/5	1/1	2/5	2/3	1/1	2/3	4/5	2/2	2/2	1/2	1/1	85	
		Actividad comercial del establo		-1/3	-1/3	-1/3	-1/3	-1/3	-1/3	-1/1	-1/1				2/3	3/7	7	
Economía		Desarrollo local											1/2	3/5	17			
	Energía eléctrica						-1/1							4/6	23			
Relaciones ecológicas	Otros	Vectores, insectos y enfermedades									3/3				9			
<b>Evaluaciones</b>			-20	-40	1	-3	-20	-6	-2	-1	65	2	2	26	56	<b>69</b>		

Magnitud	
Puntual	1 - 2
Parcial	3 - 4
Medio	5 - 6
Extenso	7 - 8
Total	9 - 10

Importancia	
Muy baja	1 - 2
Baja	3 - 4
Moderada	5 - 6
Alta	7 - 8
Muy alta	9 - 10

### **3.4.6.1. Impactos en la etapa de construcción**

#### **a. Afectación a la calidad del suelo:**

En esta etapa se genera un impacto negativo hacia la calidad de los suelos y la geomorfología, ya que perjudican de manera directa la estructura y composición de la tierra, producto de las actividades que se realizarán durante la construcción como la remoción de la capa superficial de los suelos, la excavación subterránea, los caminos, las barreras y los materiales que se utilizarán dentro y fuera de la tierra para construir un biodigestor de campana fija.

Además, que durante las instalaciones de una trampa de ácido sulfhídrico, el tanque de almacenamiento de biogás y el generador de energía afectan la forma de la superficie terrestre del establo, debido a la magnitud de sus equipos.

#### **b. Afectación a la calidad del aire:**

Se genera un impacto negativo, debido a que se producirá polvo en el movimiento de la tierra y excavación, ya que durante las actividades como la remoción de la capa superficial del suelo y la excavación subterránea generará partículas de tierra que contaminarán el aire.

Además, se producirá ruido durante la instalación del generador de energía porque se tendrá probar el funcionamiento del equipo.

#### **c. Afectación a la fauna:**

Aquí se genera un impacto negativo, ya que durante las actividades como la remoción de la superficie del suelo y la excavación subterránea afecta la tranquilidad de las aves y los pequeños reptiles que migran o viven dentro del establo, haciendo que éstos huyan o se asusten producto de los trabajos de construcción.

#### **d. Estéticos y de interés humano:**

En cuanto a los paisajes se generará un impacto negativo, debido a que en la remoción de los suelos, la excavación subterránea, la instalación del tanque de almacenamiento de biogás y las barreras, cambiarán la estructura del establo, ya que la excavación y sus equipos son de gran magnitud.

**e. Nivel cultural:**

Se genera un impacto negativo en cuanto a la seguridad y salud, ya que durante las actividades de construcción e instalación de los equipos pudiera existir algún accidente hacia los trabajadores por laborar de manera irresponsable o no estar lo suficientemente capacitados.

Por otro lado, se generará un impacto positivo en el empleo, esto se debe a que se requerirá personal calificado para trabajar en las siguientes actividades como remoción de los suelos, excavación, construcción de un biodigestor, las instalaciones de todos sus equipos, caminos y las barreras.

**f. Afectación a la economía:**

Se genera un impacto negativo en relación a la actividad comercial del estable, esto se debe a que, durante las actividades de la construcción e instalaciones de sus equipos, existirá un gasto monetario en la inversión del proyecto y por ende afectará su economía.

**3.4.6.2. Impactos en la etapa de funcionamiento**

**a. Afectación a la calidad del suelo:**

En esta etapa se genera un impacto positivo, en relación a la actividad del recojo y peso de las excretas bovinas, ya que se eliminarán grandes cantidades de excremento para ser tratados en un biodigestor de campana fija, contribuyendo con la mejoría de sus suelos y además que la forma de la superficie de su territorio tendrá un cambio significativo, puesto no habrá acumulaciones de excremento bovino en los corrales.

**b. Afectación a la calidad del aire:**

Se genera un impacto negativo, esto se debe a que durante el proceso del recojo y peso de las excretas bovinas emitirá material particulado que contaminará el aire. Además se producirá un impacto negativo en relación al ruido, ya que el generador de energía al momento de transformar el biogás emite sonidos de manera parcial, debido a que estará trabajando constantemente para la generación energía eléctrica.

Por otro lado se observa que se genera un impacto positivo, ya que al momento del recojo y peso de las excretas bovinas habrá una disminución en cuanto a los gases que diariamente emane los excrementos.

**c. Afectación a la flora:**

Aquí se genera un impacto positivo, esto se debe a que el abono orgánico que se obtendrá de la descomposición bacteriana se podrá vender a los cultivos vecinos.

**d. Estéticos y de interés humano:**

Se genera un impacto positivo en relación a la calidad de los paisajes, debido a que toda la acumulación de las excretas dentro de los corrales en su mayoría desaparecerá para ser aprovechada, cambiando las vistas y paisajes de manera favorable.

**e. Nivel cultural:**

Se genera un impacto negativo, ya que durante las actividades como el recojo y peso, tratamiento bacteriano y la obtención de biogás contienen gases perjudiciales y pueden causar algún tipo de enfermedad, además si en caso de que no utilizaran los equipos de protección personal, y el sistema no esté en las mejores condiciones óptimas, podría atentar contra la salud y seguridad de los trabajadores.

Por otro lado, se generará un impacto positivo en relación al empleo, ya que se necesitarán personas que trabajen en el recojo de las excretas bovinas, el tratamiento bacteriano de las excretas bovinas, la obtención de biogás, la obtención de abono orgánico y por último la generación de energía eléctrica.

**f. Afectación a la economía:**

Se genera un impacto positivo hacia la actividad comercial del establo y el desarrollo local, esto se debe a que podrán vender el abono saliente del tanque de descarga como un fertilizante natural para las cosechas vecinas.

Y también se producirá un impacto positivo en relación a la energía eléctrica, ya que el área de ordeño mecánico se autoabastecerá de su propia energía, teniendo un ahorro en cuanto al pago hacia la luz pública y sobre todo contribuyendo con el medio ambiente; generando más ingresos para el establo y así poder hacer uso del dinero que antes se destinaba para los gastos de la luz, en comprar más implementos para la industria ganadera, etc.

**g. Otros:**

Se genera un impacto positivo en relación a los vectores, insectos y enfermedades, ya que durante la actividad del recojo y peso de las excretas bovinas para su posterior tratamiento dentro del biodigestor, los insectos como las moscas, los mosquitos, etc., disminuirán y por ende los vectores y enfermedades que se pudiera transmitir producto de la acumulación del excremento desaparecerá.

**3.4.6.3. Medidas de mitigación**

**a. Etapa de construcción:**

Para la etapa de construcción se tendrán en cuenta las siguientes medidas mitigadoras, detallada en la siguiente tabla N°42:

**Tabla N° 42:** Medidas mitigadoras para la etapa de construcción

<b>Actividades</b>	<b>Impacto</b>	<b>Medidas mitigadoras</b>
Remoción de la capa superficial del suelo.	Emisión de polvo y material particulado.	Humedecer el suelo para evitar el levantamiento de polvo y material particulado.
Excavación subterránea.	Emisión de polvo y material particulado.	Delimitar adecuadamente el lugar en donde se realizará la excavación. Usar camiones grandes para disminuir la formación de emisiones contaminantes.
Materiales de construcción para un biodigestor.	Contaminación con los suelos.	Usar materiales de construcción que no generen contaminantes al medio ambiente.
Instalación de un tanque de almacenamiento de biogás.	Afectación paisajística.	Trabajar con las medidas de seguridad adecuadas. Inducción y capacitación continua en medidas de seguridad ocupacional.
Barreras, incluyendo cercas.	Afectación paisajística.	Delimitar adecuadamente el lugar en donde se realizarán las barreras y cercas. Usar materiales que no generen contaminantes al medio ambiente.

Elaboración propia

## b. Etapa de funcionamiento:

Para la etapa de funcionamiento se tendrán en cuenta las siguientes medidas mitigadoras, detallada en la siguiente tabla N°43:

**Tabla N° 43:** Medidas mitigadoras para la etapa de funcionamiento

<b>Actividades</b>	<b>Impacto</b>	<b>Medidas mitigadoras</b>
Recojo y peso de las excretas bovinas.	Emisión de partículas de excretas.	Utilizar los equipos adecuados para el recojo de las excretas bovinas.
Tratamiento bacteriano de las excretas bovinas.	Fugas y escape de gases.	No sobrecargar más de lo debido al biodigestor para evitar desastres. Inducción y capacitación continua en medidas de seguridad ocupacional. Llevar un control periódico del sistema para evitar explosiones, fallos de funcionamiento, escapes y fugas.
Obtención de biogás.	Fugas y escape de gas.	Mantenimiento preventivo del equipo. Inducción y capacitación continua en medidas de seguridad ocupacional. Llevar un control periódico del sistema para evitar explosiones, fallos de funcionamiento, escapes y fugas.
Generación de energía eléctrica	Generación de ruidos.	Mantenimiento preventivo del equipo. Inducción y capacitación continua en medidas de seguridad ocupacional. Llevar un control periódico del sistema para evitar explosiones, fallos de funcionamiento.

Elaboración propia

#### IV. CONCLUSIONES

- El establo Monteverde tiene una población de 2200 vacas, las cuales eliminan un aproximado de 75 125 kg/día. Se utilizará el 8,61% de estas excretas para producir un estimado de 2 268 m<sup>3</sup> de biogás al mes, que será usado para generar energía al área de ordeño mecánico. Además en el análisis físico químico de las excretas bovinas se obtuvo los parámetros necesarios para la elaboración del biogás como 8,20 de pH, 132 500 mgO<sub>2</sub>/L de sólidos suspendidos totales, 15 864,41 mgO<sub>2</sub>/L de DQO, 70 000 mgO<sub>2</sub>/L de DBO, 506,45 mg/L de fósforo y 1121,40 mg/L de nitrógeno; parámetros que permitieron identificar la cantidad de biogás que se generará y el tipo de biodigestor que se utilizará en la presente investigación.
- El consumo actual de energía en el área de ordeño mecánico del establo Monteverde es en promedio 8 018 kWh al mes, lo que nos permite identificar cuánto de energía se necesita generar para dicha área según sus proyecciones.
- A través de factores de ponderación y criterios de selección es posible la construcción del biodigestor campana fija a gran escala para el tratamiento de las excretas bovinas, ya que tecnológicamente la construcción no es un proceso complejo porque la eficiencia en la generación del efluente depende directamente de la interacción de los factores que afectan la digestión anaerobia y no de los sistemas de control.
- La inversión total para la instalación de un sistema generador de biogás es de S/.65 813,91 nuevos soles obteniendo un beneficio de S/.165 143,88 nuevos soles, de las cuales se pudo establecer una tasa de interés anual promedio del 16% que permite poder pagar un préstamo en un periodo de 1 año y 3 meses, para pagar esta inversión.



## **V. RECOMENDACIONES**

- Evaluar las propiedades de los residuos que se generan del proceso de biodigestión para ser utilizados como abono.
- Elaborar una propuesta de ampliar otro biodigestor con excretas para abastecer a todo el establo Monteverde como las oficinas, el taller mecánico, las máquinas que preparan los alimentos del ganado, etc., para reducir sus costos en energía.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ ABT (BUSINESS GROUP). España – Respaldada por la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y Comercio Electrónico.  
Disponible en: <http://www.abt-grupo.com/renewables.php> (consultada el 16 de noviembre del 2015).
- ✓ Agapito, Teodoro. 2007. Factores de conversión. Serie: Ingeniería. Ed. Isabel. Lima, Perú.
- ✓ Aguilar, Taboada y Ojeda Benítez. 2011. Modelo mexicano para la estimación de la generación de biogás. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Sistema de Información Científica: Universidad Autónoma de Yucatán, México. vol. 15, núm. 1, pp. 37-45.
- ✓ Arellano, Lucrecia, Magdalena Cruz y Carmen Huerta. 2014. El Estiércol, material de desecho, de provecho y algo más. Instituto de Ecología, A.C. México, 40 pp.
- ✓ Banco de crédito BCP. Tasas activas en soles  
<https://ww3.viabcp.com/tasasytarifas/TasasDetalle.aspx?ATAS=1&O=012>  
(Consultada el 5 de noviembre del 2017).
- ✓ Carrasco Franklin. 2008. Diseño del biodigestor: Nota de aula de energías no convencionales.
- ✓ Castillos, Ana. 2011. BIOGAS construcción y funcionamiento de biodigestores plásticos de flujo continuo.
- ✓ Chapman, Stephen. 2006. Planificación y control de la producción. Pearson Educación de México, S.A de C.V.
- ✓ Craig, James, David Vaughan y Brian Skinner. 2007. Recursos de la tierra. Origen, uso e impacto ambiental. Pearson Prentice Hall. Impreso en España.
- ✓ Creswell, John 2008. "Diseño de investigación: enfoques de métodos cualitativos, cuantitativos y mixtos". 2da. Ed. Sage Publications, Estados Unidos.
- ✓ Daladier y Carlos Tito. 2011. Obtención de Biogás a Partir de Excremento de Cuy en Condiciones Ambientales en Tacna Perú: Revista Ciencia y Desarrollo. Volumen 13.

- ✓ Empresa AquaLimpia Engineering. Alemania. file:///C:/Users/USER/Downloads/Generadores.pdf (Consultada el 3 de noviembre del 2017)
- ✓ Empresa Center Enamel Co, Ltd. China. <http://spanish.cectanks.com/sale-8553980-bolted-coated-steel-biogas-storage-bio-digester-tank-2-000-000-gallons.html>. (Consultada el 3 de noviembre del 2017).
- ✓ Empresa Luqiang Energy Equipment Co., Ltd. China. [https://spanish.alibaba.com/supplier\\_wc4BAAJ6CAc8%5Bg7eNEVdH4wWq4-d?spm=a2700.7787035.a371l.18.6x0lEG](https://spanish.alibaba.com/supplier_wc4BAAJ6CAc8%5Bg7eNEVdH4wWq4-d?spm=a2700.7787035.a371l.18.6x0lEG). (Consultada el 13 Agosto del 2016).
- ✓ Empresa Taizhou Taifa New Energy Science Co., Ltd. China. [https://spanish.alibaba.com/supplier\\_wc4BAAJ4s4rvvMOyLZ4xW8CdAdpX?spm=a2700.7787054.a3723.12.7L6LRg](https://spanish.alibaba.com/supplier_wc4BAAJ4s4rvvMOyLZ4xW8CdAdpX?spm=a2700.7787054.a3723.12.7L6LRg). (Consultada el 24 de Agosto del 2016).
- ✓ Expósito, German. Modelización de procesos biológicos para la eliminación de residuos ganaderos, teniendo en cuenta sus condicionantes especiales. Madrid.: Universidad politécnica de Madrid. Departamento de ordenación del territorio, urbanismo y medio ambiente, 2010. 352 p.
- ✓ Fajardo, Sandra y Jaime Paez. 2106. Obtención de biogás a partir de la pulpa de café y estiércol de res: Revista Universidad de Guayaquil. (Mayo).
- ✓ Fernández, G., Alayón, Panero C., Nazario V., Stefanini V., 2010. Aprovechamiento de Biomasa Residual bajo un Esquema de Cogeneración de Energía Eléctrica y Térmica. Aplicación del enfoque de Marco Lógico como Herramienta para Planificación de la Gestión de un Proyecto, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Argentina.
- ✓ Fernández V., Rodríguez L., y Aquino N., 2014. “Generación de energía renovable a partir del desarrollo de actividades pecuarias en el Departamento de Madre de Dios”, Universidad Científica del Perú - Ciencia Amazónica: 67 – 77.
- ✓ Fernández J., Escalante, Jesús Saavedra y Carmen Caribay. 2007. Obtención de biogás a partir del bagazo de caña y estiércol: Revista científica juvenil. Mérida-Venezuela. (Enero-Diciembre): pág. 105-118.
- ✓ Funk, Ted. 2007. Anaerobic methane digesters for dairy farms: Are you asking the right questions. University of Illinois.

- ✓ Guardado, José. 2007. Cuba: Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas. Cuba: Editorial Cuba Solar.
- ✓ Guía ambiental para las plantas de beneficio del ganado. 2002. Guía ambiental para el subsector. Ministerio del medio ambiente. Bogotá
- ✓ Guía comunitaria para la salud ambiental. 2011. Energía Limpia. Disponible desde [http://hesperian.org/wp-content/uploads/pdf/es\\_cgeh\\_2011/es\\_cgeh\\_2011\\_cap23.pdf](http://hesperian.org/wp-content/uploads/pdf/es_cgeh_2011/es_cgeh_2011_cap23.pdf) (consultada el 13 de junio 2016).
- ✓ Guerrero, Lorna y Montalvo, Silvio. 2003. Tratamiento anaeróbico de residuos. Valparaíso. Editor: Universidad Técnica Federico Santa María.
- ✓ INTERAME. Ver\_ Asociación Interamericana de Grandes Consumidores de Energía.<http://elcomercio.pe/economia/peru/grafico-dia-peru-tiene-menor-coste-electrico-industrial-noticia-1827433>. (Consultada el 02 de agosto del 2016).
- ✓ Kaiser, Felipe y Bas Gronauer. (2002). Producción de biogás a partir del guano animal: el caso de Alemania. Agronomía y Forestal UC, Nr: 16 Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal de la Pontificia Universidad Católica de Chile. (Julio): pp. 4 – 8.
- ✓ Laines, Ramón, Sosa y José Aurelio. 2013. Degradación anaerobia del contenido gástrico ruminal bovino para la obtención de biogás, en un biodigestor tipo cúpula. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Sistema de Información Científica: Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, México vol. 17, núm. 1, enero-abril, pp. 57-65.
- ✓ Marcelo S., María M. 2004. Biología del uso – Guía de estudio. Editorial de la Universidad Nacional del Sur. Departamento de Agronomía. Argentina – Febrero 2004.
- ✓ Martí, Nuria. 2006. Phosphorus precipitation in anaerobic digestion process. USA: Dissertation.com
- ✓ Martínez, Carlos. 2015. Volumen de biodigestores: Orientaciones sobre el cálculo del volumen de residuales que se debe disponer en un biodigestor. (Agosto).
- ✓ Moncayo, Gabriel. 2014.”Manual de dimensionamiento y diseño de biodigestores industriales para clima tropical. Biodigestores tropicalizados”. Alemania: Aqualimpia Engineering.

- ✓ Murillo, Jorge, E. Coto, J. Maldonado y R. Botero. 2007. Implementación de un sistema para generar electricidad a partir de biogás en la finca pecuaria integrada de EARTH: Universidad EARTH Las Mercedes de Guácimo, Limón, Costa Rica. (Diciembre).
- ✓ Nodar, Lorena. 2012 “Planta de Biogás: Finca Mouriscade”. UPV
- ✓ Olaya, Yeison y Luis Gonzales. 2009. Fundamentos para el diseño de biodigestores. Módulo para la asignatura de Construcciones Agrícolas: Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. (Julio).
- ✓ Olaya, Yeison. 2006. Diseño de un biodigestor de cúpula fija. Tesina (Ingeniero Agrícola). Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira.
- ✓ Pezo A., Acosta F., Velásquez J., Veen M., y Garay R. 2011. Producción de Energía Renovable (biogás) a partir del estiércol del ganado bovino en la Estación Experimental Agraria El Porvenir – INIA. Análisis de situación actual y mejoras. San Martín, Perú.
- ✓ Pizarro. C., W. Mulbry, D. Blersch and P. Kangas. 2006. An economic assessment of algal turf scrubber technology for treatment of dairy manure effluent. Journal of ecological engineering. (Article in press) Elsevier.
- ✓ Quipuzco L., Baldeón W., y Tang O., 2011. Evaluación de la calidad de biogás y biol a partir de dos mezclas de estiércol de vaca en biodigestores tubulares de PVC. Departamento de ingeniería ambiental, física y meteorología de la facultad de ciencias de la Universidad Nacional Agraria La Molina.
- ✓ Rivas, Bertha, Gabriel Zúñiga, Jorge Sáenz, Sergio Guerrero, Armando Segovia y Hugo Morales. 2012. Perspectivas de obtención de energía renovable de la biomasa del estiércol del ganado lechero en la región centro-sur de Chihuahua: Revista Mexicana de Agronegocios. (Enero – Junio).
- ✓ Samayoa, Svetlana, Carlos Bueso y Joaquín Viquez. 2012. Guía de implementación de sistemas de biodigestión en ecoempresas: Publicación impresa y hecha en Honduras. (Julio).
- ✓ Salazar, Jean, Cristian Amusquivar, Juan Llave y César Rivasplata. 2012. Producción de biogás y biol a partir de excretas de ganado: experiencias en la ciudad de Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna, E.A.P. de Física. XIX Simposio Peruano de Energía y del Ambiente.
- ✓ SEPAR. Ver\_Servicios Educativos, Promoción y Apoyo Rural. [http://separ.org.pe/?page\\_id=100](http://separ.org.pe/?page_id=100) (Consultada el 13 de mayo del 2016)

- ✓ SEGARPA. 2013. Especificaciones técnicas para el diseño y construcción de biodigestores en México.
- ✓ Tapia, Valerio. 2016. Manual técnico. Instalación y uso de biogás. Proyecto RAMIS RESILIENTE. Perú.
- ✓ Tarquin, Blank. 2002. Engineering economy.
- ✓ Tchobanoglous, George, Hilary Theisen y Samuel Vigil. 1994. Gestión Integral de Residuos Sólidos. España: Mcgraw-Hill. Interamericana de España.
- ✓ Textoscientíficos.com. Factores que afectan la producción de gas <http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/factores>. (Consultada el 20 de junio del 2016).
- ✓ Varnero, María. 2011. Manual de Biogás. “Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables”. Ministerio de Energía, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Global Environment Facility. Santiago de Chile.
- ✓ Vera I., Estrada M., Martínez J. y Ortiz A. 2014 “Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I: excretas de ganado bovino y porcino”, Ingeniería Investigación y Tecnología: pág. 429 – 436.
- ✓ Vidal A., Canudas E., Canudas E., Zamudio T., y Viguera M. 2012 “Generación de Energía Eléctrica con Biogás producido con excretas de Bovinos”, Memorias del Siglo XVII Congreso Internacional Anual de la SOMIM.
- ✓ Villanueva, Juan, Hugo Nájera, José Gómez, Tania Hernández y Alexis Velasco. 2011. Generación, caracterización y uso del biogás, producto de la digestión anaerobia de las excretas de ganado bovino. (Diciembre).
- ✓ Yeison Olaya, Luis Gonzales. 2009. Colombia: módulo para la asignatura de construcciones agrícolas. Colombia: fundamentos para el diseño de biodigestores.

## VII. ANEXOS

### Anexo 1. Carta de aceptación de datos



**ESTABLO MONTEVERDE**

*De nuestras vacas, la mejor leche para el mejor yogurt.*

#### Carta de Aceptación de Datos

Señores:  
Ing. Sonia Salazar Zegarra.  
Directora de Escuela de Ingeniería Industrial  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

Asunto: Autorización a Carlos Felipe Pretell Samán

Yo el Sr. Iván López Flórez Gerente General de la Empresa Ganadera "ESTABLO MONTEVERDE" con RUC: 20205922149, autorizo al Sr. Carlos Felipe Pretell Samán, alumno de la Facultad de Ingeniería en la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, identificado con DNI N°47204509, para hacer uso de la información necesaria para realizar su proyecto de investigación aplicado a nuestra Empresa Ganadera "ESTABLO MONTEVERDE" confiando que dicha información será exclusivamente para fines académicos.

Se expide la presente a solicitud.

Chiclayo, 10 de Junio del 2015

Atentamente.

PRODUCCIONES PASTISERAS ANDINAS S.A.C.  
10/6/15  
Ing. Iván López Flores  
GERENTE GENERAL

Sr. Iván López Flórez  
Gerente General

PLANTA Y OFICINAS  
Calle La Alameda Nro. S/N  
(Caserío La Alameda)

telf. (511) 202-2600  
Pacasmayo - Jequetepeque  
La Libertad

## Anexo 2. Registro fotográfico área de ordeño mecánico



**Fuente:** Establo Monteverde



**Fuente:** Establo Monteverde.



### Anexo 3. Registro fotográfico de alimentación y excremento del ganado en el establo Monteverde





**Fuente:** Establo Monteverde



**Fuente:** Establo Monteverde

## Anexo 4. Análisis físico – químico de las excretas bovinas

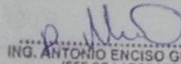
 **UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH**  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO**  
Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe


 **Nº 002604**

### ANALISIS FISICO-QUIMICO

**SOLICITANTE** : CARLOS FELIPE PRETELL SAMAN  
**PROCEDENCIA** : Chiclayo  
**RESPONSABLE ANALISIS** : Ing. Elizabeth Monterrey Porras  
**FECHA DE ANALISIS** : La Molina, 05 de Octubre del 2015

Nº LABORATORIO	2604
Nº DE CAMPO	EXCRETAS BOVINAS DILUIDAS EN AGUA
ph	8.20
Solidos Suspendidos mg/L	132500.00
Nitrogeno mg/L	1121.40
Fosforo mg/L	506.45
DBO mg O <sub>2</sub> /L	7000.00
DQO mgO <sub>2</sub> /L	15864.41

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO  
  
ING. ANTONIO ENCISO GUTIERREZ  
JEFE DE LABORATORIO



## Anexo 5: Consideraciones del laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina, para el envío de las muestras de excretas bovinas.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
**LA MOLINA**  
FACULTAD DE CIENCIAS



### LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

RECOLECCION Y ENVIO DE MUESTRAS, Y  
EXAMENES SOLICITADOS AL LABORATORIO



FACULTAD DE  
INGENIERIA AGRICOLA

DEPARTAMENTO DE  
RECURSOS HIDRICOS

#### CONSIDERACIONES PARA EL ENVIO DE LAS MUESTRAS

- . Dos litros y 1/2 de muestra en botellas de vidrio para los parámetros a analizar.
- . Rotular correctamente con la identificación correspondiente a cada muestra.
- . Deben ser enviadas en un cooler o caja de tecnopor con refrigeración no menor a 4°C, antes de las 48 horas.
- . Las muestras de excretas bovinas deben ingresar a las instalaciones los días miércoles o jueves.
- . La entrega de resultados serán al cabo de 7 días hábiles, desde la fecha.

Unidad de ciencias/ Departamento de recursos hídricos - DRH  
INFORMES E INSCRIPCIONES: Av. La Molina s/n - La Molina. Lima - Perú.  
Telefax: 6147800, anexo 226 E - mail: las-fia@lamolina.edu.pe

## **Anexo 6. Cálculos para hallar las cantidades a utilizar en la construcción del biodigestor, el tanque de carga, tanque de descarga, tuberías y codos:**

Al término de los cálculos se procedió a la suma total por cada material de construcción para saber cuánto se utilizará de estos.

### **a. Biodigestor:**

Altura del biodigestor = 5,11 m; ancho del biodigestor = 12,76 m.

Para hallar estas cantidades se le cotizó a un albañil para tener una relación de lo que se utilizará para la construcción del biodigestor y posteriormente sacar nuestros costos.

- **Hallando ladrillos:**

$$1 m^2 = 40 \text{ ladrillos}$$

$$5,11 \times 12,76 = 70,31 m^2$$

$$70,31 \times 4 \text{ paredes del biodigestor} = 281,24 m^2 \text{ del biodigestor}$$

$$281,24 \times 40 \text{ ladrillos} = 11\ 250 \text{ ladrillos}$$

- **Hallando cemento:**

8 bolsas = 1000 ladrillos para asentar

$$\frac{11\ 250}{1000} = 11,25 \text{ bolsas}$$

$$11,25 \times 8 = 90$$

- **Hallando arena gruesa:**

1 cubo = 6 bolsas

$$\frac{90\ 000}{6} = 15\ 000$$

$$\frac{15\ 000}{1000\ \text{ladrillos}} = 20\ \text{cubos de arena}$$

- **Hallando arenilla:**

1 cubo = 60 latas

7 latas = 1 bolsa de cemento para revestir

1 bolsa de cemento =  $5\ m^2$

$$\frac{281,24}{5} = 56,23\ \text{bolsa de cemento}$$

$$\frac{60}{7} = 8,57\ \text{bolsas por cada cubo de arenilla}$$

$$\frac{56,23}{8,57} = 6,56 \cong 7\ \text{cubos de arenilla para rebestir}$$

- **Hallando fierro de 1/2 in:**

12 columnas para el biodigestor

1 columna = 4 fierros (varilla completa)

$$12 \times 4 = 48\ \text{varillas de fierro}$$

Por columna entra 4 bolsas de cemento

- **Hallando fierro de 3/4 in:**

1 collarín de entran 4 fierros

El volumen del fierro es de 9 m

$$12,76 \times 4 = 51,04\ \text{m vuelo del cilindro}$$

$$\frac{51,04}{9} = 5,67 \cong 6\ \text{fierros para el collarín}$$

6 bolsas de cemento entran para todo el vuelo del collarín.

- **Hallando la zapata:**

Para cada zapata entra 1 cubo de hormigón y

6 bolsas de cemento

**b. Hallando el tanque de carga:**

- **Hallando los ladrillos:**

Por  $m^2$  de pared = 40 ladrillos

$$5,51 \times 40 = 220,4 \cong 241 \text{ ladrillos}$$

- **Hallando cemento:**

3 bolsas de cemento

- **Hallando arena gruesa:**

1 cubo = 60 latas

$$10 \times 3 = 30 \text{ latas de arena}$$

$$30 \times \frac{1}{60} = 0,5 \cong 1 \text{ cubo de arena gruesa}$$

- **Hallando arenilla:**

2 bolsas de cemento = 7 latas de arena

$$2 \times 7 = 14 \text{ latas de arenilla}$$

$$14 \times \frac{1}{60} = 0,23 \cong \frac{1}{2} \text{ cubo de arenilla}$$

**c. Tanque de descarga:**

Son las mismas medidas que las del tanque de carga.

- **Hallando los ladrillos:**

Por  $m^2$  de pared = 40 ladrillos

$$5,51 \times 40 = 220,4 \cong 221 \text{ ladrillos}$$

- **Hallando cemento:**

3 bolsas de cemento

- **Hallando arena gruesa:**

1 cubo = 60 latas

$$10 \times 3 = 30 \text{ latas de arena}$$

$$30 \times \frac{1}{60} = 0,5 \cong 1 \text{ cubo de arena gruesa}$$

- **Hallando arenilla:**

2 bolsas de cemento = 7 latas de arena

$$2 \times 7 = 14 \text{ latas de arenilla}$$

$$14 \times \frac{1}{60} = 0,23 \cong \frac{1}{2} \text{ cubo de arenilla}$$

**d. Tuberías:**

6 metros cada tubo, entonces se utilizarán:

2 tubos de 1 in

**e. Codos:**

Se utilizarán:

<i>3 codos 1 in</i>
---------------------

**Suma total de los materiales de construcción:**

$$\mathbf{Larillos} = 11\,250 + 221 + 221 = 11\,692$$

$$\mathbf{Cemento} = 90 + 4 + 6 + 6 + 3 + 3 = 112$$

$$\mathbf{Arena\ gruesa} = 20 + 1 + 1 = 22$$

$$\mathbf{Arenilla} = 7 + 0,5 + 0,5 = 8$$

$$\mathbf{Fierro\ de\ \frac{1}{2}} = 48$$

$$\mathbf{Fierro\ de\ \frac{3}{8}} = 6$$

$$\mathbf{Tubos} = 2$$

$$\mathbf{Codos} = 3$$



# Anexo 7: Recibo de luz Hidrandina

RECIBO N° 630-12474161  
Pacasmayo, La Libertad/

Para Consultas, su código es: **52262790**

Tadeo \*\*\*\*\*  
Jr. 28 de Julio 00s/n Pblo. Tapacocha

**Setiembre-2017**



**Hidrandina**  
EMPRESA REGIONAL DE SERVICIO PÚBLICO DE  
ELECTRICIDAD ELECTRONORTE MEDIO S.A.  
Of. Principal: Av. España 1230 - Trujillo  
R.U.C. 20132023540

---

**DATOS DEL SUMINISTRO Y CONSUMO**

Tensión: 220 V - BT  
Sub. Estación N°: D-382305 (SE0125)  
Tipo de Conexión: Monofásica-Aérea(C1.1)  
Opción Tarifaria: BT5B - Residencial  
Medidor N°: 000000008102464 - Electrón  
Hilos: 2  
Lectura Anterior: 809.00 (18/08/2017)  
Lectura Actual: 818.00 (17/09/2017)  
Diferencia de Lectura: 9.00  
Factor: 1.0000  
Consumo: 9.00 kWh  
Cons. Prom.(β): 9.83 kWh

Potencia Contratada: 0.80 kW.  
Inicio Contrato: 09/05/2007  
Termino Contrato: 08/05/2018  
Fecha Emisión: 22/09/2017


**IMPORTES FACTURADOS**

Recibo por Consumo del 19/08/2017 al 17/09/2017

Cargo Fijo	3.70
Cargo por Reposición y Mantenimiento de la Conexión	1.08
Energía Activa(S/ 10.5639 x 9.0000 kWh)	2.84
Alumbrado Público (Aloueta: S/ 0.4848)	0.48
SLB TOTAL	8.10
Imp. Gral. a las Ventas	1.48
Cargo Energía Ley MCTER 30458	-0.32
Cargo Fijo Ley MCTER 30458	-0.18
Saldo por redondeo	0.04
Redondeo	0.03
Aporte Ley Nro. 28749: 0.0081	0.07
<b>TOTAL RECIBO DE SETIEMBRE-2017</b>	<b>9.20</b>
Descuento FOSE(Ley N°27510) S/ 2.84	

---

GRUPO PALERMO S.R.L. RUC: 20314908717



Importe 2 Últimos Meses Facturados

Jul - 2017 S/ 8.02	Ago - 2017 S/ 13.30
--------------------	---------------------

Hidrandina S.A. te recuerda... Este vale de descuento es para ser canjeado por un balón de gas No vendas tu vale... es un delito!!!

---

**FECHA DE VENCIMIENTO**

**16/10/2017**

**TOTAL A PAGAR S/ \*\*\*\*\***