

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.

##### 1.1. Gestión de Residuos

La gestión de residuos, se constituye en una estrategia que en el contexto del desarrollo local moviliza a todos los actores en torno al logro de objetivos comunes, relacionados con el fortalecimiento de la capacidad de gestión, ya sea comunitaria o municipal, va dirigida a responder la problemática de los residuos mediante soluciones viables y sostenibles, así como también por medio de la adopción de tecnologías apropiadas, la participación de las comunidades en todos los aspectos del manejo de los residuos y en el cuidado responsable del ambiente. Todo ello va encaminado a incidir positivamente en la situación de la salud pública en la comunidad, en el municipio y en el país y a que se tome en cuenta esta estrategia como un factor importante del desarrollo local. (Burt ,P, Cubides, P, Soto, L, Luna, R & Shiffman,C. 2012).

El envío de materia orgánica a vertederos supone una pérdida de recursos puesto que puede ser aprovechada en otros procesos como son: compostaje, en el reciclaje de los residuos sólido y líquidos para la generación de biogás o abono orgánico.

##### 1.2. Estiércol

Domínguez (1984), indica que el estiércol es una porción activa importante para el suelo, se encuentra en pequeña cantidad (1 a 5%), que puede modificar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, aumenta la porosidad y mejora las relaciones agua-aire, reduciendo la erosión ocasionada por el agua y el viento.

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

##### 1.3. Estiércol Vacuno

Tiene una importante presencia de compuestos de lenta degradabilidad, su descomposición es lenta, pero contribuye altamente a la mejora de la estructura del suelo. Su efecto nutritivo puede equivaler en el primer año de su aportación hasta el 30% del nitrógeno (N) total presente y el efecto residual tiene importancia relevante después de varios años del cese de los aportes, en función del tipo de suelo, del clima,

de las labores, de otros abonados y de los cultivos que se siembren además de presentar características fuertemente diferenciadas en función del sistema de cría. (Guerrero, 1993).

#### 1.4. Composición del Estiércol.

El estiércol no es un abono de composición fija. Ésta 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, etc. Un animal joven consume mayor cantidad de nitrógeno y fósforo que un animal viejo; las deyecciones que de aquél 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. Moreira Tóala, E. (2013).

Mamani (1997), el residuo más importante de una explotación agropecuaria es el estiércol, en su estado fresco es una mezcla de paja con los excrementos sólidos y líquidos de diferentes animales domésticos, sin embargo, el componente más importante es el proveniente de los vacunos.

**Tabla 1 Composición Química del Estiércol de Ganado Vacuno**

<b>Especie Animal</b>	<b>Materia Seca%</b>	<b>N %</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> %</b>	<b>K<sub>2</sub>O %</b>	<b>CaO %</b>	<b>MgO %</b>	<b>SO<sub>4</sub> %</b>
Vacuno (f)	6	0,29	0,17	0,10	0,35	0,13	0,04
Vacuno (s)	16	0,58	0,01	0,49	0,01	0,04	0,13

Fuente: SEPAR, 2004. *Produciendo nuestros propios insumos*. (p. 198). (tabla). Perú. Boletín Estiércoles

(F) fresco (S) seco

N: Nitrógeno

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: Anhídrido Fosfórico

K<sub>2</sub>O: óxido de Potasio

CaO: óxido de Calcio

MgO: óxido de Magnesio

SO<sub>4</sub>: Ácido Sulphídrico

**Tabla 2 Valores Aproximados de la Relación Carbono/Nitrógeno de Algunos Residuos Disponibles en el Medio Rural**

<b>Materiales Residuos Animales</b>	<b>Carbono %</b>	<b>Nitrógeno %</b>	<b>Carbono/Nitrógeno</b>
Bovinos	30	1,30	25:1
Equinos	40	0,80	50:1
Ovino	35	1,00	35:1
Porcino	25	1,50	16:1
Gallinas	35	1,50	23,1

Fuente: Varnero y Arellano, 1991

### **1.5. Efectos del Estiércol**

El manejo inadecuado de los desechos de animales causa enormes problemas para el medio ambiente, la producción animal, el hombre, y en última instancia, serios perjuicios sociales y económicos.

➤ *Impacto en el suelo:*

El suelo puede ser seriamente afectado si el estiércol contiene concentraciones altas de Nitrógeno, Fósforo, microorganismos patógenos antibióticos y compuestos que interactúen con el sistema endocrino. La sobrecarga de nutrientes en el suelo ocasiona infiltración por escurrimiento y lixiviación en aguas superficiales y subterráneas. Por ejemplo, las excretas bovinas frescas contienen Nitrógeno en forma de nitratos y nitritos, siendo la forma de acumulación de estos compuestos oxidados en el cultivo puede causar intoxicación en el ganado que lo consuma. (Pinos. 2012)

➤ *Impacto en el agua:*

El agua es contaminada por excretas directamente a través de escurrimientos, infiltraciones y percolación profunda en las granjas, indirectamente por escorrentía y flujos superficiales desde zonas de pastoreo y tierras de cultivo.

El Nitrógeno es abundante en el estiércol, y está relacionado con la contaminación de aguas subterráneas por la lixiviación de nitrato a través del suelo. El Fósforo está relacionado con la contaminación de aguas superficiales. El Fósforo tiene un impacto importante sobre los recursos hídricos vertido directamente en las corrientes o aplicado en dosis excesivas en el suelo, afectando así la calidad del agua. (Pinos 2012).

➤ *Impacto en el aire:*

El estiércol descarga polvos y gases a la atmósfera producto de la descomposición aeróbica, entre estos gases se encuentra el metano CH<sub>4</sub> es uno de los gases de efecto invernadero GEI 23 veces más potente que el Dióxido de Carbono CO<sub>2</sub>. El estiércol contribuye con el 16% de las emisiones globales y aporta cerca del 25% de las emisiones antropogénicas de óxido nitroso. (Pino. 2012).

## **1.6. Manejo del Estiércol**

Existen diferentes sistemas de manejo del ganado que pueden o no incluir el manejo del estiércol, la finalidad es acumularlo, degradarlo con diferentes técnicas, evitando la contaminación del suelo, agua, aire, plantas, animales y personas y al final obtener un producto que genere algún beneficio.

### **1.6.1. Sistemas de Manejo y Degradación del Estiércol**

#### *Pastoreo*

El manejo del pastoreo influye en dos aspectos, la producción de leche por hectárea y la producción de forraje de alta calidad por hectárea. Por una parte, afecta el rendimiento y persistencia de la pradera condicionando su capacidad sustentadora. Por otra, controla la oferta de forraje por animal y su valor nutritivo, determinando el consumo de nutrientes y el rendimiento individual. (Parga J. 2009)

#### *Corrales Fijos o Móviles*

Su objetivo es la de reunir en un espacio pequeño un cierto número de animales, para facilitar el manejo del rebaño durante todo el año. El ganado está confinado a un lugar cerrado y sus excrementos se acumulan en una zona y después el ganado pasa a otro corral a realizar la misma acumulación. Esto sirve para abonar terrenos pobres que puedan posteriormente ser cultivados. (Quevedo. 2010).

#### *Abono Orgánico*

Para Acuña H., (2002) Se usa en agricultura y jardinería como enmienda para el suelo, aunque también se usa en paisajismo, control de erosión, recubrimiento y recuperación de suelos. Para obtener un abono rico en nutrientes se debe almacenar y procesar el estiércol mediante las siguientes técnicas:

#### *Composteo*

El compost es un abono orgánico que resulta de la descomposición de residuos de origen animal y vegetal. La descomposición de estos residuos ocurre bajo condiciones de humedad y temperatura controlada. (Acuña. 2002)

#### *Lombricomposta*

Es el proceso que utiliza la acción conjunta de microorganismos y lombrices para procesar material orgánico y obtener un producto comercializable. Se utiliza lombrices de tierra llamada “coqueta o californiana” o “lombriz roja” esta lombriz se alimenta de desechos picados finamente, y elimina en su excremento algo más de la mitad de lo que ingiere convertido en abono. (Ruiz M. 2011).

#### *Material Combustible*

El estiércol una vez que se seca, puede ser quemado para servir como combustible y sus cenizas pueden llevarse a la tierra cultivable. Sin embargo, muchos de sus nutrientes, como la mayor parte del nitrógeno, el carbono y el azufre se pierden durante la combustión.

#### *Producción de Biogás*

El proceso de producción de biogás es muy sencillo y no requiere de alta tecnología, el proceso es anaeróbico.

### **1.7. Biogás**

El biogás es una mezcla gaseosa formada principalmente de Metano y Dióxido de Carbono, pero también contiene diversas impurezas. La composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. Cuando el biogás tiene un contenido de Metano superior al 45% es inflamable. El biogás tiene propiedades específicas que se indican en las Tablas 3 y 4.

**Tabla 3 Características Generales del Biogás**

Composición	55- 70% Metano (CH <sub>4</sub> ) 30-45% Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ) Trazas de otros gases
Contenido energético	6,0- 6,5 KW h m <sup>-3</sup>
Equivalente de combustible	0,60-0,65 ℓ petróleo/m <sup>3</sup> biogás
Límite de explosión	6- 12 % de biogás en el aire

Temperatura de ignición	650-750 °C (con el contenido de Metano mencionado)
Presión crítica	74- 88 atm.
Temperatura crítica	-82,5°C
Densidad normal	1,2kg m <sup>-3</sup>
Olor	Huevo podrido(el olor de gas desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16,043 Kg/kgmol <sup>-1</sup>

Fuente: FAO (2011).

**Tabla 4 Composición Química del Biogás**

Componentes	Fórmula Química	Porcentaje %
Metano	CH <sub>4</sub>	60-70
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	30-40
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	1,0
Sulfuro de Hidrógeno	H <sub>2</sub> S	1,0
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0,5-3
Monóxido de Carbono	CO	0,1
Oxígeno	O <sub>2</sub>	0,1
Ácido sulfhídrico	H <sub>2</sub> O+H <sub>2</sub> S	0,1

Fuente: Moreira E. (2013)

### 1.7.1. Utilización del Biogás

La gran variedad de biomasa existentes, unida al desarrollo de distintas tecnologías de transformación de esta energía (combustión directa, pirolisis, gasificación, fermentación, digestión anaerobia,) permiten plantear una gran cantidad de posibles aplicaciones entre las que se destacan la producción de energía térmica, electricidad.

- ✓ Producción de energía térmica: aprovechamiento convencional de la biomasa natural y residual. Los sistemas de combustión directa son aplicados para generar calor, el cual puede ser utilizado directamente, como, por ejemplo, la cocción de alimento.
- ✓ Producción de energía eléctrica: obtenida minoritariamente a partir de biomasa residual y principalmente de cultivos energéticos, leñosos, de crecimiento rápido y herbáceos, también se utiliza biogás resultante de la fermentación de ciertos residuos, para generar electricidad.
- ✓ Producción de biocombustibles: existe la posibilidad ya legislada, de alimentar los motores de gasolina con bioalcoholes (obtenidos a partir de la remolacha,

maíz, sorgo dulce, de caña de azúcar) y los motores diésel con bioaceites (obtenidos a partir de colza, girasol, soja). (Manilla Peres, Efrain, 2000).

### 1.7.2. Equivalencia de Biogás con otras Fuentes de Energía

**Tabla 5 Equivalencias Volumétricas entre el Biogás y otros Combustibles**

<b>Combustible</b>	<b>Cantidad Equivalente a 1 m<sup>3</sup> de Biogás</b>
Carbón vegetal	0,8kg
Leña	1,5kg
Gasolina	0,61ℓ
GLP (gas licuado de petróleo)	0,45ℓ
Carbón mineral	0,74kg

Fuente: Cardoso Filho, 2001

### 1.7.3. Producción de Biogás con Respecto a la Cantidad de Estiércol y la Temperatura Ambiente

**Tabla 6 Producción de Biogás en Relación a la Cantidad de Estiércol de Ganado Vacuno**

<b>GANADO VACUNO</b>				
<b>Temperatura</b>	<b>Sólidos de Estiércol (ℓ/día)</b>	<b>Producción de Biogás (m<sup>3</sup>/día)</b>	<b>Producción de Biogás (hora/día)</b>	<b>Producción de Biol (ℓ/día)</b>
15°C a 23 °C	24	0,9	2	95
Más de 23 °C	30	1,2	2	120
menos de 15 °C	14	0,6	1	57

Fuente: Manual de biobolsa. 2014

### 1.7.4. Sólidos Totales (ST)

Se refiere a la materia orgánica seca, sin la humedad. Valores promedio de ST de algunos sustratos se muestran en la Tabla 7

### 1.7.5. Contenido de Sólidos Volátiles (SV)

Es la parte total de sólidos que se pueden transformar en biogás. Valores promedio de SV de algunos sustratos se muestran en la Tabla 7

**Tabla 7 Contenido y Tipo de Materia Orgánica**

<b>Fuente</b>	<b>W<sub>A</sub> (Kg)</b>	<b>E (Kg)</b>	<b>ST (Kg)</b>	<b>SV (Kg)</b>	<b>N<sub>P</sub> (g)</b>	<b>P<sub>P</sub> (g)</b>	<b>K<sub>P</sub> (g)</b>	<b>ST/T %</b>	<b>SV/ST %</b>
Vaca	500	86	12	10	0,45	0,094	0,29	14	83
Toro	500	58	8,5	7,2	0,34	0,092	0,21	15	85
Becerro	40	62	5.2	2,3	0,27	0,066	0,28	8	44
Cerdo	70	84	11	8,5	0,52	0,18	0,29	13	77
Gallina	2,2	85	22	17	0,84	0,3	0,3	26	76

Fuente: (Chungandro.2010).

**Donde:**

W<sub>A</sub>= Peso promedio del animal

E=Cantidad total de residuo (estiércol) promedio en kilogramo (Kg). Por cada 1000kg de peso animal.

ST= Contenido promedio de sólidos totales en kg, por cada 1000kg de peso del animal

SV= Contenido promedio de sólidos volátiles en kg. Por cada 1000kg de peso del animal.

N<sub>P</sub>= Contenido promedio de Nitrógeno en gramos por 1000kg de sustancia.

P<sub>P</sub>= Contenido promedio de Fósforo en gramos por 1000kg de sustancia.

K<sub>P</sub>= Contenido promedio de Potasio en gramos por 1000kg de sustancia.

ST/T= Porcentaje de ST sobre el total de estiércol.

SV/ST= Porcentaje de sólidos volátiles sobre sólidos totales.

**1.8. Proceso de Digestión Anaeróbica**

En el proceso de la digestión anaeróbica, la materia orgánica se degrada lentamente, hasta la producción de Metano (CH<sub>4</sub>), donde interactúan distintos grupos de bacterias, en un digester herméticamente cerrado.

La primera fase es la hidrólisis de partículas y moléculas complejas (proteínas, Carbohidratos y lípidos) que son hidrolizadas por enzimas extracelulares producidas por los microorganismos acidogénicos o fermentativos. Como resultado se producen compuestos solubles más sencillos (aminoácidos, azúcares y ácidos grasos de cadena larga) que serán metabolizados por las bacterias acidogénicas dando lugar, principalmente, a ácidos grasos de cadena corta, alcoholes, Hidrógeno, Dióxido de Carbono y otros productos intermedios. Los ácidos grasos de cadena corta son

transformados en ácido Acético, Hidrógeno y Dióxido de Carbono, mediante la acción de los microorganismos acetogénicos. Por último, los microorganismos metanogénicos producen Metano a partir de ácido acético, Hidrogeno y Dióxido de Carbono. (Moreno. 2011)

### **1.8.1. Hidrólisis**

La materia orgánica polimérica no puede ser utilizada directamente por los microorganismos a menos que se hidrolicen en compuestos solubles, que puedan atravesar la pared celular. La hidrólisis es el primer paso necesario para la degradación anaeróbica de sustratos orgánicos complejos. Por tanto, es el proceso de hidrólisis el que proporciona sustratos orgánicos para la digestión anaeróbica. La hidrólisis de estas moléculas complejas es llevada a cabo por la acción de enzimas extracelulares producidas por microorganismos hidrolíticos. La etapa hidrolítica puede ser el proceso limitante de la velocidad global del proceso sobre todo cuando se tratan residuos con alto contenido de sólidos. Además, la hidrólisis depende de la temperatura del proceso, del tiempo de retención hidráulico, de la composición bioquímica del sustrato (porcentaje de lignina, carbohidratos, proteínas y grasas), del tamaño de partículas, del nivel de pH, de la concentración de  $\text{NH}_4^+$  y de la concentración de los productos del hidrólisis. (Moreno. 2011).

### **1.8.2. Etapa Fermentativa o Acidogénica**

Durante esta etapa tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en Compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (acético, fórmico, Hidrogeno) y compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y Etanol principalmente) que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso. La importancia de la presencia de este grupo de bacterias no sólo radica en el hecho que produce el alimento para los grupos de bacterias que actúan posteriormente, sino que, además eliminan cualquier traza del oxígeno disuelto del sistema. Este grupo de microorganismos, se compone de bacterias facultativas y anaeróbicas obligadas, Colectivamente denominadas bacterias formadoras de ácidos. (Moreno. 2011).

### **1.8.3. Etapa Acetogénica**

Mientras que algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos el (Hidrógeno y ácido acético), otros

(Etanol, ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos) deben ser transformados en productos más sencillos, como acetato ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ) e hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), a través de las bacterias acetogénicas. Representantes de los microorganismos acetogénicos son *Syntrophomonas wolfei* y *Syntrophobacter wolini*. Un tipo especial de microorganismos acetogénicos, son los llamados homoacetogénicos. Este tipo de bacterias son capaces de crecer heterotróficamente en presencia de azúcares o compuestos monocarbonados (como mezcla hidrógeno/ dióxido de Carbono) produciendo como único producto Acetato. Al contrario que las bacterias acetogénicas, éstas no producen hidrógeno como resultado de su metabolismo, sino que lo consumen como sustrato. Según se ha estudiado, el resultado neto del metabolismo homoacetogénico permite mantener bajas presiones parciales del Hidrógeno y, por tanto, permite la actividad de las bacterias acidogénicas y acetogénicas. Los principales microorganismos homoacetogénicos que han sido aislados son *Acetobacterium woodii* y *Clostridium aceticum*. A esta altura del proceso, la mayoría de las bacterias anaeróbicas han extraído todo el alimento de la biomasa y, como resultado de su metabolismo, eliminan sus propios productos de desecho de sus células. Estos productos, ácidos volátiles sencillos, son los que van a utilizar como sustrato las bacterias metanogénicas en la etapa siguiente. (Moreno. 2011).

#### **1.8.4. Etapa Metanogénica**

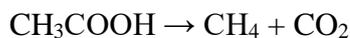
En esta etapa, los últimos compuestos son tomados dentro de las células bacteriales metanogénicas convirtiéndolos en metano y excretándolo fuera de la célula. Este es un periodo de digestión intensiva, de carácter de fermentación alcalina, en el cual hay una digestión de las materias resistentes, de las proteínas, de los aminoácidos, y de la celulosa; se caracteriza por la producción de sales de ácidos orgánicos y volúmenes de gas, en una mezcla donde hay un alto porcentaje de metano, y el resto corresponde a Dióxido de Carbono y Nitrógeno. (Guevara. 1996).

Los microorganismos metanogénicos completan el proceso de digestión anaeróbica mediante la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: Acetato, Hidrógeno/ Dióxido de Carbono, Formando, Metanol y algunas metilaminas. Los organismos metanogénicos se clasifican dentro del dominio Archaea y tienen características comunes que los diferencian del resto de procariotas. Se pueden establecer dos grandes grupos de

microorganismos, en función del sustrato principal que metabolizan: hidrogenotróficos, que consumen Hidrógeno/ dióxido de Carbono y fórmico y acetoclásticos, que consumen acetato, metanol y algunas aminas. Se ha demostrado que un 70% del metano producido en los reactores anaeróbicos se forma a partir de la descarboxilación de ácido acético, a pesar de que, mientras todos los organismos metanogénicos son capaces de utilizar el Hidrógeno como aceptor de electrones, sólo dos géneros pueden utilizar acetato. Los dos géneros que tienen especies acetotróficas son *Methanosarcina* y *Methanothrix*. El metano restante proviene de los sustratos ácido carbónico, ácido fórmico y metanol. El más importante es el carbónico, el cual es reducido por el hidrógeno, también producido en la etapa anterior. (Moreno. 2011).

la producción de Metano se puede dar por las siguientes vías:

- Fermentación de ácido acético:

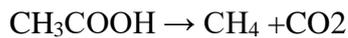


- Fermentación de + Ácido Propanoico:

1ra Etapa



2da Etapa



Reducción de Dióxido de Carbono + hidrógeno gaseoso → metanol y ácido fórmico



### 1.8.5. Comparación entre Fase Acetogénicas y Metanogénicas

**Tabla 8 Comparación entre Fase Acidogénica y Metanogénico**

Fase Acidogénica	Fase Metanogénicas
Bacteria facultativas (pueden vivir en presencia de bajos contenidos de oxígeno)	Bacterias anaerobias estrictas (no pueden vivir en presencia de oxígeno)
Reproducción muy rápida (alta tasa reproductiva)	Reproducción lenta (baja tasa reproductiva).
Poco sensibles a los cambios de acidez y temperatura	Muy sensibles a los cambios de acidez y temperatura.
Principales metabolitos, ácidos orgánicos	Principales productos finales, metano y dióxido de carbono.

Fuente: (Chungandro.2010).

### 1.8.6. Factores que Influyen en la Digestión Anaerobia

La actividad metabólica involucrada en el proceso metanogénico se ve afectada por diversos factores. Debido a que cada grupo de bacterias que intervienen en las distintas etapas del proceso responden de forma diferente a esos cambios. (Orduñas. 2010).

Entre los factores más importantes a tomarse en cuenta y que se desarrollarán seguidamente son:

- Tipo de sustrato
- Temperatura del sustrato
- Tiempo de retención
- Nivel de acidez (pH)

#### 1.8.6.1. Tipo de Materia Prima

Las materias primas fermentables incluyen dentro de un amplio espectro a los excrementos animales y humanos, aguas residuales orgánicas de las industrias (producción de alcohol, procesado de frutas, verduras, lácteos, carnes, alimenticias en general), restos de cosechas y basuras de diferentes tipos, como los efluentes de determinadas industrias químicas. (Orduñas. 2010).

El volumen de estiércol producido por distintos animales varía fundamentalmente por su peso, el tipo de alimentación y manejo de los mismos. En la Tabla 9 muestra las cantidades de estiércol producido por diferentes animales y el rendimiento de gas de los mismos, tomando como referencia el kilogramo de sólidos volátiles (SV).

**Tabla 9 Producción de Estiércol por Especie Animal**

<b>Especie</b>	<b>Peso vivo (Kg)</b>	<b>Kg Estiércol/día</b>	<b>CH<sub>4</sub> %</b>
Cerdos	50	4,5-6	65-70
Vacunos	400	25-40	65
Aves	1,5	0,06	60

Fuente: (Chungandro.2010).

#### 1.8.6.2. Temperatura del Sustrato

Los procesos anaeróbicos, al igual que muchos otros sistemas biológicos, son fuertemente dependientes de la temperatura, la digestión es más rápida a temperaturas más elevadas. La temperatura de operación del digestor, es considerada uno de los principales parámetros de diseño, debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de digestión anaeróbica. Las variaciones bruscas de temperatura en el

digestor pueden gatillar la desestabilización del proceso. Por ello, para garantizar una temperatura homogénea en el digestor, es imprescindible un sistema adecuado de agitación y un controlador de temperatura. Existen tres rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos, siendo la velocidad máxima específica de crecimiento mayor, conforme aumenta el rango de temperatura. Dentro de cada rango de temperatura, existe un intervalo para el cual dicho parámetro se hace máximo, determinando así la temperatura de trabajo óptima en cada uno de los rangos posibles de operación. (Orduñas. 2010).

**Tabla 10 Rangos de Temperatura y Tiempos de Retención**

Fermentación	Rango de Temperatura			Tiempo de Retención
	Mínima	Óptima	Máxima	
Psicrofílicas	4-10°C	15-18°C	20-25°C	Sobre 100 días
Mesofílicas	15- 20°C	25-35°C	35-45°C	Sobre 30 a 60 días
Termofílicas	25-45°C	75-80°C	75-80°C	Sobre 10 a 15 días

Fuente: Chungandro G. 2010

En climas fríos gran parte de la energía producida se consume para mantener caliente el biodigestor y aumentar la temperatura del sustrato, pudiendo representar las  $\frac{3}{4}$  partes de la producción de biogás, en el rango mesofílico las bacterias se reproducen fácilmente siendo su temperatura óptima de 35°C, en la fase termofílica se produce la mayor cantidad de biogás, en general solo es usado en las grandes instalaciones a nivel industrial, ya que se requiere de un control muy preciso. (Chungandro G. 2010)

#### **1.8.6.3. Tiempo de Retención (T.R.)**

Se define como el tiempo que el sustrato está sometido a la acción de los microorganismos en el biodigestor. En los digestores continuos y semi continuos, el tiempo de retención se define como el valor en días del cociente entre el volumen del digestor y el volumen de carga diaria. El T.R. está íntimamente ligado con dos factores: el tipo de sustrato y la temperatura del mismo, las temperaturas mayores implicarán una disminución en los tiempos de retención requeridos. (Orduñas D. 2010).

#### **1.8.6.4. Nivel de Acidez (pH)**

Es uno de los parámetros de control más habituales debido a que en cada fase del proceso los Microorganismos presentan máxima actividad en un intervalo de pH diferente. Así, el intervalo de pH óptimo de los microorganismos hidrolíticos es entre

7,2 y 7,5, para las acetogénicas entre 7 y 7,2 y para las metanogénicas entre 6,5 y 7,5. (Orduñas D. 2010)

### **1.9. Historia y Evolución del Biogás en Bolivia**

Bolivia comenzó a utilizar biogás con la construcción de biodigestores en Cochabamba en 1986 con un proyecto entre la Universidad Mayor de San Simón y la GTZ de aquel entonces, actualmente GIZ. En el 2003 se implementaron los biodigestores de bajo costo en condiciones del clima frío como el altiplano, suponiendo un hito en el desarrollo de esta tecnología a nivel mundial. Desde el 2006 hasta el 2010, la cooperación alemana, a través del programa Energising Development (EnDev) Bolivia- acceso de energía, de la GIZ, ha instalado 607 biodigestores, beneficiando a 3035 personas en el área rural. Esta experiencia de la cooperación alemana para obtener energía a bajo costo, ha sido tomada en cuenta para el desarrollo de un futuro programa nacional de biodigestores. (Martí. 2008)

El encargado de este trabajo en Bolivia Jaime Martí demostró entusiasmo y convicción al proponer modelos modernos, orientados a las necesidades y peculiaridades geográficas de las distintas poblaciones de Bolivia, logrando de esta manera proporcionar información detallada de la construcción de un biodigestor sus dimensiones, características y factores a tomarse en cuenta para las distintas zonas geográficas y, además, facilitar el conocimiento técnico y práctico a las familias del área rural, que puedan y deseen construir y mantener los biodigestores en sus hogares para que las mismas mejoren su calidad de vida y su productividad. (Martí. 2008)

### **1.10. Biodigestor**

Los biodigestores son una valiosa alternativa para reducir y transformar los residuos de origen orgánico, en productos benéficos para las personas y favoreciendo estratégicamente en el cuidado del medio ambiente.

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.(biodigestores,2011).

### **1.10.1. Biodigestor de Tipo Manga**

Conocidos como biodigestores familiares de bajo costo, donde las familias del área rural que no tienen suficientes recursos optan por la construcción este modelo, son fáciles de implementar utilizando plásticos tubulares de polietileno. (Moreira Tóala, E. 2013).

### **1.10.2. Partes Principales del Biodigestor de Polietileno**

#### *Tubo de Admisión*

Es el tubo por donde ingresa el sustrato a la cámara de digestión, éste debe ser de 20 o 30 centímetros de diámetro, debe sumergirse a 25 centímetros en el sustrato para evitar fugas del gas que se puedan generar. (Moreira Tóala, E. 2013).

#### *Fermentador y Bolsa de Almacenamiento*

Las mangas de polietileno usualmente vienen en rollos de 50-100 m, por lo que se debe calcular a qué longitud debe darse el corte para obtener el volumen deseado, para esto se utilizan fórmulas de geometría básica, en este caso el volumen del cilindro, ya que una manga una vez inflada se comporta como un cilindro.

Este es el principal componente del biodigestor, la bolsa de almacenamiento está en la parte superior del biodigestor. El tamaño del fermentador depende de la cantidad de desechos a fermentar por  $0.3\text{m}^3$ , pero éste no debe ser muy grande, si la cantidad de desechos a tratar es significativamente grande, se pueden conectar cámaras múltiples por medio de tuberías, lo cual incrementaría su eficiencia, su limitante es que ocuparía un área superficial extensa y costosa. (Moreira Tóala, E. 2013).

#### *Tubo del Afluente*

Según (Moreira Tóala, E. 2013). “Este tubo debe estar sumergido a 15 centímetros al igual que el tubo admisión cumple la misma función para evitar el escape del gas, debe tener un diámetro de 4 a 6 pulgadas”.

#### *Tubo de Metano*

Según (Moreira Tóala, E. 2013) “Este tubo sirve para la conducción del biogás generado en la parte superior de la bolsa, tiene una salida que está sumergida en agua para drenar la humedad condensada”.

### **1.10.3. Instalación**

Se realiza una zanja en el suelo, de modo que ingrese el biodigestor de manera adecuada, esto ayudara a mantener una temperatura ideal al biodigestor, luego se a

instala el tubo de admisión del material orgánico y el tubo de salida afluentes en las esquinas. Se coloca el tubo de conducción de biogás, se llena la bolsa con el sustrato y se pone en marcha el proceso de degradación. (Moreira Tóala, E. 2013).

#### **1.10.4. Mantenimiento**

Por ser material plástico se debe tener mucho cuidado en el manejo para evitar rupturas, además pueden ser fácilmente reparadas usando adhesivos fuertes y con el mismo material, el biodigestor tiene una durabilidad aproximadamente de 5 años con un correcto uso. (Moreira Tóala, E. 2013).

#### **1.11. Ventajas y desventajas del biodigestor**

##### **Ventajas**

- ✓ La producción de energía, puede adaptarse a diferentes fines (combustible, calor, luz y electricidad).
- ✓ Favorece en la mitigación del cambio climático como alternativa renovable en la generación de biocombustible.
- ✓ Disminuye la pérdida de cobertura vegetal por la no dependencia al uso de leña.
- ✓ No genera dependencia de los combustibles fósiles.
- ✓ Fomenta el aprovechamiento y transformación de residuos fecales de animales en la producción de biocombustible y como subproducto fertilizante natural de alta calidad.
- ✓ Mejora las condiciones higiénicas por la reducción de patógenos, huevos de moscas, etc. Encontrados en las heces fecales que se encuentran en la intemperie.
- ✓ Favorece la protección de los factores agua atmosfera y vegetación.
- ✓ Disminuyen las enfermedades de tipo respiratorio, que genera la combustión de leña.
- ✓ Se protege al medio ambiente y así también se mejora la calidad de vida de las personas.

##### **Desventajas**

- ✓ Aumento de costos por elevada distancia entre el almacenamiento del estiércol y el biodigestor
- ✓ Baja activación de bacterias por temperatura por debajo de los 21° c

- ✓ Producción excesiva de H<sub>2</sub>S y baja cantidad de CH<sub>4</sub>
- ✓ Riesgos de explosión
- ✓ Trabajo manual en la etapa de carga y descarga

## **2. MARCO CONCEPTUAL**

### **Residuos Sólidos**

Son Materiales generados en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control, reparación o tratamiento, cuya calidad no permite usarlos nuevamente en el proceso que los generó, que pueden ser objeto de tratamiento y/o reciclaje. (RGRS, 1992).

### **Efecto Invernadero**

El calentamiento de la superficie terrestre debido a la refracción térmica entre los gases atmosféricos, especialmente el CO<sub>2</sub>. La atmósfera entonces se comporta como un gigantesco vidrio del invernadero que permite el paso de la luz, pero captura la radiación infrarroja dentro de él, calentando el medio ambiente. (Diccionario ecológico- energético. 2000).

### **Metano (CH<sub>4</sub>)**

El metano es un hidrocarburo inodoro, incoloro e insípido; su fórmula química es CH<sub>4</sub> y su peso molecular es de 16,043 g/mol y una densidad de 0,716 gr/ℓ. El metano también es conocido con el nombre de “gas de pantano”; es elemento combustible y proporciona la energía respectiva; 1 m<sup>3</sup> de metano desprende alrededor de 8900 – 9500 kcal y debido a la concentración de CO<sub>2</sub> en el biogás (40%), bajo su poder energético, baja su poder energético a un promedio de 12.060 kcal/Kg. (López B. G. 2012).

### **Bioenergía**

Se define como bioenergía a la energía que se obtiene de la biomasa. Dos de las más importantes ventajas que tiene el uso de la bioenergía son que puede sustituir a los combustibles fósiles sin provocar aumento de emisiones que producen el cambio climático, y que es la única fuente energética capaz de retar al petróleo en el mercado de los combustibles líquidos para el sector transporte. (Alfredo Martínez J. 2010).

### **Biocombustible**

Son cualquiera de los combustibles sólidos, líquidos o gaseosos que se derivan de los materiales orgánicos que forman parte de la Biomasa. Pueden provenir directamente

del reino vegetal, o, indirectamente de desechos industriales, comerciales, domésticos o agrícolas. (Constanza. 2013).

### **Combustible**

Un combustible es cualquier sustancia que reacciona con el oxígeno de forma violenta, en producción de calor, llamas y gases. Supone la liberación de una energía de su forma potencial a una forma utilizable (por ser una reacción química, se conoce como energía química). En general se trata de algo susceptible de quemarse, pero hay excepciones que se explican a continuación. (López B. G. 2012).

### **Digestión Anaerobia**

La digestión anaerobia es un proceso biológico de degradación de la materia orgánica en ausencia de Oxígeno. (Bolívar E. & Hernán F. 2007).

### **Bacteria**

Microorganismo unicelular procariota, capaces de generar un acopia de sí misma, cuando aumenta su tamaño y el número de los diferentes componentes celulares. El tiempo que necesita una bacteria para completar su ciclo de crecimiento depende de factores genéticos y ambientales, tales como la cantidad de nutriente la temperatura, luminosidad en el medio de cultivo. (Rojas. M., 2007).

### **Deshidrogenacion**

Reacción que comporta la perdida de hidrogeno. Se lleva a cabo a temperaturas elevadas y en presencia de catalizadores. (López. 2012).

### **Aceptor de Electrones**

Átomo o grupo de átomos que recibe un grupo de electrones no compartidos para formar un enlace covalente coordinado con otra sustancia, que lo proporciona. En la teoría de Lewis, un aceptor de electrones se comporta como ácido. (López. 2012).

### **Dador de Electrones**

Átomo de una sustancia que cede una pareja de electrones a otro para formar un enlace covalente coordinado. (López. 2012).

### **Sustrato**

Compuesto químico activo susceptible de producir una reacción química. Es también aplicable en las interacciones que realizan las enzimas sobre los compuestos en sus reacciones específicas. (López. 2012).

## **Enzimas**

Proteínas que funcionan como catalizadores biológicos en los organismos vivos, provocando reacciones específicas o grupos de reacciones bioquímicas. (López. 2012).

## **Nivel de pH**

Concentración de iones Hidrógeno ( $H^+$ ) o Hidróxidos ( $OH^-$ ) que determinan la acidez o basicidad de una sustancia. El pH se mide de 0 a 14 siendo 7 una solución neutra, de 0 a menor de 7 ácida y mayor de 7 a 14 básica. La concentración de  $CO_2$  en la carga, la concentración de ácidos volátiles y la propia alcalinidad de la materia prima hacen variar el pH del Biodigestor. (Constanza. 2013).

## **Abono Orgánico**

Materia orgánica descompuesta (en putrefacción), normalmente de origen vegetal. Se aplica al suelo para incrementar su contenido en humus. (Diccionario Ecológico de Redes.2001).

## **3. MARCO LEGAL**

### **Ley del Medio Ambiente N° 1333**

Artículo 1.- La presente ley tiene por objeto la protección y conservación del medio ambiente y los recursos naturales regulando las acciones del hombre con relación a la naturaleza y promoviendo el desarrollo sostenible con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población.

Artículo 32.- Es deber del estado y la sociedad preservar, conservar, resto de los recursos naturales renovables, entendidos para los fines de esta ley, como recurso biótico, flora y fauna, y los abióticos como el agua, aire y suelo con una dinámica propia que les permite renovarse en el tiempo.

### **Título VII**

#### **De la educación ambiental**

##### **Capítulo I**

#### **De la educación ambiental**

Artículo 83.- Las universidades autónomas y privadas orientarán sus programas de estudio y de formación técnica y profesional en la perspectiva de contribuir al logro del desarrollo sostenible y la protección del medio ambiente.

## **Reglamento de gestión de residuos solidos**

### **Título I**

#### **Disposiciones generales**

##### **Capítulo I**

###### **Del objeto y ámbito de aplicación**

**Artículo 1.-** La presente disposición legal reglamenta la ley de medio ambiente No. 1333 del 27 de abril de 1992, respecto a los residuos sólidos, considerados como factor susceptible de degradar el medio ambiente y afectar la salud humana.

Tiene por objeto establecer el régimen jurídico para la ordenación y vigilancia de la gestión de los residuos sólidos, fomentando el aprovechamiento de los mismos mediante la adecuada recuperación de los recursos en ellos contenidos.

###### **Ley 755 de Gestión Integral de Residuos, 2015**

**Artículo 1. (Objeto).** La presente Ley tiene por objeto establecer la política general y el régimen jurídico de la Gestión Integral de Residuos en el Estado Plurinacional de Bolivia, priorizando la prevención para la reducción de la generación de residuos, su aprovechamiento y disposición final sanitaria y ambientalmente segura, en el marco de los derechos de la Madre Tierra, así como el derecho a la salud y a vivir en un ambiente sano y equilibrado.

Artículo 6. (Principios). La Gestión Integral de Residuos se desarrolla conforme a los principios de la Ley N° 300 de 15 de octubre de 2012, "Ley Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral para Vivir Bien", y los siguientes principios:

**d) Protección de la Salud y el Medio Ambiente.** La Gestión Integral de Residuos debe orientarse a la protección de la Madre Tierra, previniendo riesgos para la salud y de contaminación del agua, aire, suelo, flora y fauna, en concordancia con las estrategias de lucha contra el cambio climático, para el vivir bien de las actuales y futuras generaciones.

###### **Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático**

**Artículo 2.-** El objetivo último de la presente convención y de todo instrumento jurídico conexo que adopte la conferencia de las partes, es lograr la conformidad con las disposiciones pertinentes de la convención, la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería

lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible.

#### **Artículo 4.-**

##### **Compromisos**

- c) promover y apoyar en su cooperación el desarrollo, la aplicación y difusión, incluida la transferencia, de tecnologías, prácticas y procesos que controlen, reduzcan o prevengan las emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero no controlado por el protocolo de Montreal, en todos los sectores pertinentes, entre ellos la energía, el transporte la industria, la agricultura, la silvicultura y la gestión de desechos.
- i) promover y apoyar con su cooperación la educación, la capacitación y la sensibilización del público respecto al cambio climático y estimular la participación más amplia en ese proceso, incluida la de las organizaciones no gubernamentales.

## CAPÍTULO II

### 2. MATERIALES Y METODOLOGÍA

#### 2.1. Descripción del Área de Estudio

El presente trabajo se realizó en la comunidad de San Andrés distante a 25 Km de la ciudad de Tarija en La Propiedad “La Esperanza”, entrando por el cruce de Panti Pampa a mano derecha por camino de tierra unos 15 minutos en vehículo particular, existen casas en el camino distanciadas, que cultivan tomate maíz y otros, además de poseer animales como ser vacas, chivas, gallinas y otros. Cuenta con los servicios necesarios como son agua luz.

**Tabla 11 Ubicación geográfica de San Andrés**

<b>LATITUD</b>	<b>21° 37' 30,9"</b>
<b>LONGITUD</b>	<b>64° 49' 5,3"</b>
<b>ALTITUD</b>	<b>1981m.s.n.m</b>

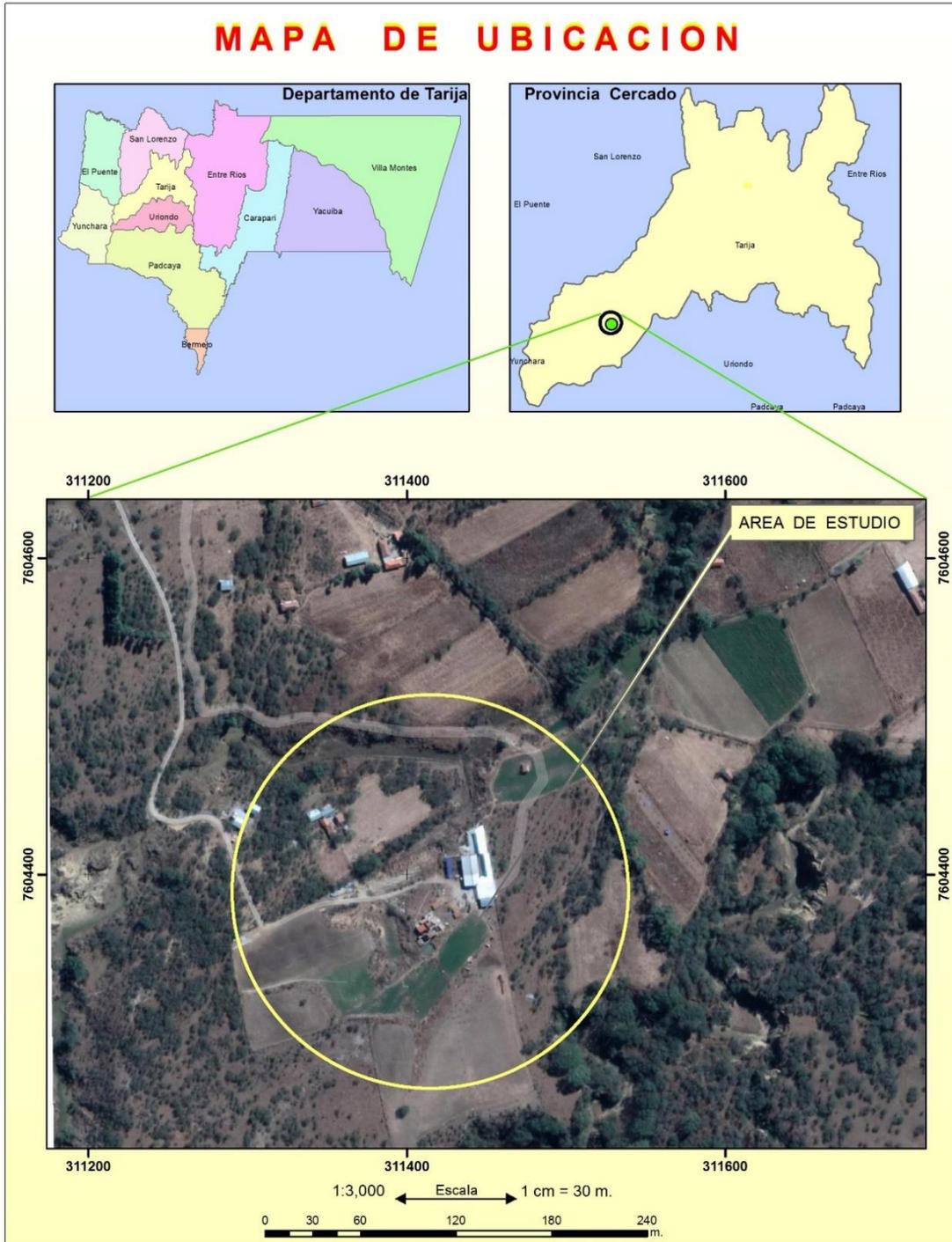
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 12 Ubicación Geográfica Propiedad La Esperanza**

<b>LATITUD</b>	<b>21° 39' 14"</b>
<b>LONGITUD</b>	<b>64° 49' 20"</b>

Fuente Elaboración Propia

Figura 1 Ubicación Propiedad La Esperanza



Fuente: Gabinete de SIG

## **2.2. Características de la Población**

### **2.2.1. Servicios Básicos**

La comunidad de san Andrés cuenta con un sistema de agua potable, por cloración, el agua baja por la cuenca de Camacho. Existe red eléctrica que beneficia a toda la comunidad y Servicios de internet con señal de Entel, Tigo y Viva.

## **2.3. Aspectos Económicos Productivos**

### **2.3.1. Potencial Agrícola**

San Andrés cuenta con tierras aptas para la producción intensiva de hortalizas, frutales, tubérculos y floricultura. Sus potencialidades más importantes están en una mayor intensificación de la producción agrícola bajo riego y del uso más eficiente del agua. la agricultura intensiva requiere prácticas de conservación de suelos y control de riadas, complementado por programas que estén dirigidos a realizar un manejo más eficiente del agua de riego desde la conducción hasta su aplicación en el ámbito parcelario.

### **2.3.2. Ganadería: Potencial Lechero**

La lechería es una actividad económica importante en San Andrés. Existe un significativo potencial para expandir la lechería como una actividad integral de producción de leche, forrajes y estiércol para la agricultura, pero el mercado es altamente competitivo y el consumo de la población local es bajo. En este ámbito, se requiere emprender acciones tendientes al mejoramiento genético del ganado, al fomento del consumo de la leche, a la alimentación y nutrición del ganado y al mejoramiento de la calidad de la leche y sus derivados.

## **2.4. Componente Biofísico**

### **2.4.1. Características Climáticas – Estación San Andrés**

#### **2.4.1.1. Temperaturas Máximas en San Andrés**

La temperatura máxima media anual es de 25,4°C, la máxima media extrema promedio anual es de 37,5°C, registrada en el mes de noviembre.

**Tabla 13 Temperaturas Máximas San Andrés**

DATOS DE : TEMPERATURA MÁXIMA DIARIA (°C)													
AÑO: 2018													
DIA	ENE	FEB	MA R	ABR	MA Y	JUN	JUL	AG O	SEP	OC T	NO V	DIC	TOTA L
1	25,0	24,0	21,0	22,0	24,0	17,0	33,0	26,0	24,0	26,0	35,0	24,0	25,1
2	23,0	26,0	23,0	24,0	25,0	15,0	30,0	22,5	25,0	26,5	25,0	20,0	23,8
3	25,0	27,0	20,0	25,0	23,0	15,0	20,0	25,0	27,0	22,0	30,0	22,0	23,4
4	26,0	28,0	21,0	25,0	23,0	18,0	31,0	26,0	26,0	31,0	26,0	25,0	25,5
5	25,0	25,0	28,0	25,0	22,0	23,0	31,0	25,0	26,0	27,0	26,0	25,5	25,7
6	23,0	23,0	19,0	26,0	23,0	29,0	32,0	29,0	36,0	24,0	25,5	25,0	26,2
7	24,0	23,0	22,0	25,0	22,5	18,0	12,0	26,0	31,0	26,0	22,5	24,0	23,0
8	25,0	24,0	24,0	24,0	21,0	27,0	16,0	19,0	29,0	27,0	22,5	24,0	23,5
9	24,0	31,0	24,0	35,0	22,0	29,0	26,0	25,0	25,0	34,0	28,0	25,0	27,3
10	24,0	27,0	24,0	37,0	21,0	28,0	25,0	26,0	26,0	19,0	34,0	27,0	26,5
11	25,0	28,0	25,0	27,0	22,0	29,0	24,0	28,0	25,0	23,0	35,0	35,0	27,2
12	23,0	22,0	****	26,5	21,0	29,0	26,0	33,0	25,0	27,0	26,0	21,0	25,4
13	23,0	22,5	****	26,0	22,0	17,0	26,0	22,0	25,0	25,0	25,5	30,0	24,0
14	24,0	24,0	****	24,0	34,0	16,0	25,0	15,0	24,0	23,0	19,0	36,0	24,0
15	25,0	24,0	28,0	25,0	26,0	15,0	25,0	17,0	25,0	28,0	24,0	35,0	24,8
16	24,5	25,0	30,0	21,0	25,0	17,0	27,0	26,0	25,0	37,5	25,0	28,0	25,9
17	25,0	24,0	31,0	25,0	25,5	22,0	28,0	25,5	26,0	35,0	25,5	25,0	26,5
18	26,0	25,0	35,0	25,0	25,5	23,0	34,0	33,0	34,0	28,0	28,0	25,0	28,5
19	24,0	24,0	25,0	25,0	26,0	25,0	25,0	30,0	35,0	25,0	27,0	25,0	26,3
20	23,0	23,0	21,0	26,5	25,0	25,5	33,0	9,0	33,0	26,0	24,0	33,0	25,2
21	23,0	22,0	21,0	25,0	24,0	27,5	20,0	23,0	35,0	23,0	25,5	25,0	24,5
22	23,0	25,0	35,0	24,0	26,0	31,0	27,0	25,0	29,0	21,0	33,0	24,0	26,9
23	24,5	26,0	34,0	25,5	23,0	33,0	13,0	28,0	28,0	19,0	25,0	22,0	25,1
24	25,0	25,0	30,0	22,0	24,5	27,0	20,0	26,0	27,0	20,0	24,0	25,0	24,6
25	25,5	24,0	21,0	26,0	25,0	26,0	22,0	25,5	26,0	23,0	20,0	25,0	24,1
26	26,0	23,0	26,0	25,0	23,0	26,0	23,0	26,0	25,0	****	21,0	24,0	24,4
27	24,0	24,0	25,0	26,0	25,0	26,0	25,0	26,0	25,0	****	24,0	26,0	25,1
28	24,0	21,0	24,0	25,5	24,0	25,0	24,0	34,0	27,0	****	23,0	30,0	25,6
29	25,0	****	25,0	23,0	23,0	26,0	31,0	35,0	29,0	34,0	23,0	28,0	27,5
30	26,0	****	26,0	23,5	24,0	27,0	25,5	36,0	26,0	30,0	25,0	26,0	26,8
31	25,0	****	26,0	****	25,0	****	26,0	33,0	****	29,0	****	28,0	27,4
<b>SUM</b>	<b>757,5</b>	<b>689,5</b>	<b>714,0</b>	<b>764,5</b>	<b>745,0</b>	<b>712,0</b>	<b>785,5</b>	<b>805,5</b>	<b>829,0</b>	<b>739,0</b>	<b>777,0</b>	<b>817,5</b>	<b>9136,0</b>
<b>ME D</b>	<b>24,4</b>	<b>24,6</b>	<b>25,5</b>	<b>25,5</b>	<b>24,0</b>	<b>23,7</b>	<b>25,3</b>	<b>26,0</b>	<b>27,6</b>	<b>26,4</b>	<b>25,9</b>	<b>26,4</b>	<b>25,4</b>
<b>MA X</b>	<b>26,0</b>	<b>31,0</b>	<b>35,0</b>	<b>37,0</b>	<b>34,0</b>	<b>33,0</b>	<b>34,0</b>	<b>36,0</b>	<b>36,0</b>	<b>37,5</b>	<b>35,0</b>	<b>36,0</b>	<b>37,5</b>
<b>MIN</b>	<b>23,0</b>	<b>21,0</b>	<b>19,0</b>	<b>21,0</b>	<b>21,0</b>	<b>15,0</b>	<b>12,0</b>	<b>9,0</b>	<b>24,0</b>	<b>19,0</b>	<b>19,0</b>	<b>20,0</b>	<b>9,0</b>
<b>N</b>	<b>31,0</b>	<b>28,0</b>	<b>28,0</b>	<b>30,0</b>	<b>31,0</b>	<b>30,0</b>	<b>31,0</b>	<b>31,0</b>	<b>30,0</b>	<b>28,0</b>	<b>30,0</b>	<b>31,0</b>	<b>359,0</b>
<b>Estación:</b>	<b>San Andrés</b>					<b>Latitud Sud:</b>	<b>21° 37' 24"</b>						
<b>Departamento:</b>	Tarija					<b>Longitud Oeste:</b>	<b>64° 48' 54"</b>						
<b>Provincia:</b>	Cercado					<b>Altitud m.s.n.m:</b>	<b>1987,0</b>						

Fuente: SENAMHI. 2018

### 2.4.1.2. Temperaturas Mínimas San Andrés

La temperatura Mínima media anual es de 10°C, la máxima media extrema promedio anual es de 22°C, registrada en el mes marzo, la máxima extrema mínima anual es de -4 °C registrada en el mes de julio.

**Tabla 14 Temperaturas Mínimas de San Andrés**

Estación:	San Andrés		Latitud Sud:	21°37' 24"									
Departamento:	Tarija		Longitud Oeste:	64° 48' 54"									
Provincia:	Cercado		Altitud m.s.n.m:	1987,0									
<b>DATOS DE : TEMPERATURA MÍNIMA DIARIA (°C)</b>													
<b>AÑO: 2018</b>													
DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	13,0	14,0	13,0	12,0	14,5	9,0	2,0	1,0	1,5	14,5	16,0	10,0	10,0
2	14,0	15,0	13,0	11,0	15,0	5,0	2,5	4,0	0,0	15,5	12,0	9,5	9,7
3	15,0	14,0	14,0	10,0	16,5	3,5	4,0	1,0	0,0	12,0	13,0	9,0	9,3
4	13,0	15,0	15,0	10,0	15,5	6,5	4,0	1,5	0,5	11,0	14,0	8,0	9,5
5	15,0	16,0	15,0	8,0	15,5	5,0	5,0	0,0	2,0	12,0	11,0	8,0	9,4
6	12,0	17,0	12,0	10,0	15,0	2,0	4,0	1,0	4,0	13,0	17,0	14,0	10,1
7	14,0	15,0	11,0	12,0	17,0	0,0	4,0	0,0	5,0	14,0	12,0	14,5	9,9
8	10,0	17,0	13,0	14,0	16,0	-3,5	1,5	6,0	6,0	15,0	12,0	14,0	10,1
9	12,0	17,0	14,0	15,0	15,5	5,0	-4,0	2,0	7,5	11,0	15,0	13,0	10,2
10	13,0	16,0	15,0	11,0	13,0	15,0	-2,0	1,0	5,0	12,0	16,0	15,0	10,8
11	14,0	15,0	13,0	11,0	14,5	15,0	-1,0	1,0	9,0	12,0	17,0	14,0	11,2
12	15,0	13,0	14,0	13,0	11,0	9,0	0,0	2,5	10,0	15,0	18,0	19,0	11,6
13	14,0	12,0	****	11,0	7,0	3,0	1,0	6,0	12,0	16,0	15,5	15,0	10,2
14	15,0	11,0	****	10,0	5,0	4,0	2,0	8,0	11,0	11,0	15,0	16,0	9,8
15	14,0	13,0	22,0	12,0	5,0	4,0	3,0	5,0	13,0	10,0	10,0	16,0	10,6
16	13,0	13,0	21,0	10,0	5,0	-3,0	2,0	1,0	12,0	8,5	16,0	15,5	9,5
17	15,0	14,0	20,0	9,0	4,5	-3,5	5,0	4,0	12,0	10,0	15,0	12,0	9,8
18	17,5	15,0	18,0	11,0	6,0	0,0	6,0	5,0	10,0	16,0	12,0	15,0	11,0
19	14,5	14,0	17,0	11,0	4,0	0,0	9,0	5,5	10,0	15,0	10,0	14,0	10,3
20	15,0	11,5	14,0	12,0	0,0	0,0	11,0	0,0	10,0	14,0	18,0	14,0	10,0
21	13,0	12,5	13,0	12,5	1,0	1,0	-1,0	1,0	10,0	10,0	17,0	14,5	8,7
22	16,0	10,0	13,0	13,0	2,5	1,0	2,0	0,0	11,0	12,0	11,0	15,0	8,9
23	15,5	12,0	15,0	14,0	1,5	0,0	-1,5	1,0	10,0	16,0	11,0	14,0	9,0
24	14,0	13,0	14,0	12,0	2,5	1,5	2,0	6,0	12,0	14,0	12,5	13,0	9,7
25	13,0	12,0	17,0	11,0	3,0	0,0	-3,0	5,5	13,0	14,0	10,0	14,0	9,1
26	12,0	14,0	13,0	17,0	4,0	1,5	-3,0	-2,0	16,0	****	12,0	15,0	9,0
27	13,0	13,0	11,0	12,0	2,5	1,0	1,0	-1,0	17,0	****	15,0	16,0	9,1
28	14,0	16,0	12,0	13,0	3,5	1,5	0,0	4,0	16,0	****	14,0	17,0	10,1
29	14,0	****	12,5	14,5	4,5	2,0	1,0	6,0	15,0	15,0	11,0	16,0	10,1
30	13,0	****	11,0	16,0	4,0	2,5	0,0	2,0	14,0	18,0	13,0	14,0	9,8
31	15,0	****	12,0	****	2,0	****	4,0	10,0	****	17,0	****	15,0	10,7
<b>SUM</b>	<b>430,5</b>	<b>390,0</b>	<b>417,5</b>	<b>358,0</b>	<b>246,5</b>	<b>88,0</b>	<b>60,5</b>	<b>88,0</b>	<b>274,5</b>	<b>373,5</b>	<b>411,0</b>	<b>429,0</b>	<b>3567,0</b>
<b>MED</b>	<b>13,9</b>	<b>13,9</b>	<b>14,4</b>	<b>11,9</b>	<b>8,0</b>	<b>2,9</b>	<b>2,0</b>	<b>2,8</b>	<b>9,2</b>	<b>13,3</b>	<b>13,7</b>	<b>13,8</b>	<b>10,0</b>
<b>MAX</b>	<b>17,5</b>	<b>17,0</b>	<b>22,0</b>	<b>17,0</b>	<b>17,0</b>	<b>15,0</b>	<b>11,0</b>	<b>10,0</b>	<b>17,0</b>	<b>18,0</b>	<b>18,0</b>	<b>19,0</b>	<b>22,0</b>
<b>MIN</b>	<b>10,0</b>	<b>10,0</b>	<b>11,0</b>	<b>8,0</b>	<b>0,0</b>	<b>-3,5</b>	<b>-4,0</b>	<b>-2,0</b>	<b>0,0</b>	<b>8,5</b>	<b>10,0</b>	<b>8,0</b>	<b>-4,0</b>
<b>N</b>	<b>31,0</b>	<b>28,0</b>	<b>29,0</b>	<b>30,0</b>	<b>31,0</b>	<b>30,0</b>	<b>31,0</b>	<b>31,0</b>	<b>30,0</b>	<b>28,0</b>	<b>30,0</b>	<b>31,0</b>	<b>360,0</b>

Fuente: SENAMHI

### 2.4.1.3. Precipitación

La precipitación diaria promedio anual es de 10,4 mm, los valores máximos promedio se registran en el mes de diciembre con 49,5.

**Tabla 15 Precipitación diaria San Andrés**

Estación:	San Andres									Latitud Sud:	21° 37' 24"		
Departamento	Tarija									Longitud Oeste:	64° 48' 54"		
Provincia:	Cercado									Altitud m.s.n.m:	1987,0		
DATOS DE : PRECIPITACIÓN DIARIA (mm)													
AÑO: 2018													
DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	48,5	0,0	16,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	68,5
2	20,5	4,5	20,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,5	55,0
3	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,5	11,5
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	2,0
5	0,0	0,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0
6	0,0	4,5	10,7	0,0	15,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	31,2
7	11,0	5,8	14,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	17,5	0,0	49,8
8	16,0	22,6	0,3	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	3,7	6,3	52,4
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,1	5,1
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	4,8
11	2,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	9,0
12	0,0	20,0	****	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29,0
13	18,5	15,0	****	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,1	10,0	50,6
14	28,0	0,0	****	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	3,5	0,0	0,0	34,0
15	2,0	0,0	****	0,0	0,0	0,0	0,0	10,5	0,0	0,0	0,3	0,0	12,8
16	0,0	15,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,5
17	3,5	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,5	33,5
18	11,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	15,0
19	4,5	0,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,5	0,0	49,5	90,5
20	6,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	0,0	2,2	17,0
21	28,0	14,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	43,4
22	5,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,4	0,0	13,2	0,0	32,6
23	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	6,9	10,0	30,4
24	15,0	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,5	6,0	9,5	45,5
25	9,2	12,6	20,0	14,1	0,0	0,0	0,0	0,0	28,0	3,5	0,0	4,5	91,9
26	7,5	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	27,0
27	3,5	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	****	0,3	0,0	7,3
28	6,5	0,5	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,5	****	7,7	32,3	62,5
29	15,2	****	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,0	3,8	17,6	16,5	67,1
30	9,5	****	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	11,8
31	10,5	****	0,0	****	0,0	****	0,0	0,0	****	0,0	****	1,0	11,5
<b>SUM</b>	<b>292,7</b>	<b>147,6</b>	<b>130,0</b>	<b>23,1</b>	<b>15,5</b>	<b>0,0</b>	<b>3,5</b>	<b>10,5</b>	<b>70,4</b>	<b>65,1</b>	<b>82,6</b>	<b>197,2</b>	<b>1038,2</b>
<b>MED</b>	<b>12,7</b>	<b>9,2</b>	<b>13,0</b>	<b>11,6</b>	<b>15,5</b>	<b>0,0</b>	<b>3,5</b>	<b>10,5</b>	<b>14,1</b>	<b>5,0</b>	<b>7,5</b>	<b>11,6</b>	<b>10,4</b>
<b>MAX</b>	<b>48,5</b>	<b>22,6</b>	<b>20,5</b>	<b>14,1</b>	<b>15,5</b>	<b>0,0</b>	<b>3,5</b>	<b>10,5</b>	<b>28,0</b>	<b>16,5</b>	<b>17,6</b>	<b>49,5</b>	<b>49,5</b>
<b>MIN</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>

Fuente: SENAMHI.201

### 2.4.1.4. Humedad Relativa

La Humedad Relativa promedio anual es de 87%, el valor máximo promedio se registra en el mes de febrero con 93% y el mínimo valor el mes de agosto con 57%.

**Tabla 16 Humedad Relativa Media Diaria en San Andrés**

Estación:	San Andres						Latitud Sud:	21° 37' 24"					
Departamento:	Tarija						Longitud Oeste:	64° 48' 54"					
Provincia:	Cercado						Altitud m.s.n.m.:	1987,0					
DATOS DE : HUMEDAD RELATIVA MEDIA DIARIA (%)													
AÑO: 2018													
DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	79,0	90,0	87,0	86,0	87,0	76,0	71,0	80,0	83,0	80,0	75,0	81,0	81,2
2	83,0	82,0	92,0	75,0	86,0	90,0	69,0	84,0	77,0	87,0	77,0	90,0	82,7
3	77,0	80,0	87,0	84,0	87,0	85,0	85,0	81,0	83,0	86,0	82,0	90,0	83,9
4	76,0	82,0	89,0	82,0	79,0	86,0	87,0	81,0	75,0	76,0	75,0	84,0	81,0
5	74,0	90,0	89,0	82,0	89,0	79,0	89,0	84,0	62,0	80,0	82,0	87,0	82,2
6	73,0	90,0	91,0	81,0	82,0	76,0	79,0	78,0	58,0	81,0	83,0	84,0	79,7
7	77,0	89,0	88,0	82,0	88,0	81,0	80,0	83,0	64,0	77,0	88,0	82,0	81,6
8	76,0	79,0	87,0	84,0	82,0	74,0	84,0	79,0	79,0	78,0	86,0	79,0	80,6
9	75,0	72,0	87,0	68,0	82,0	76,0	65,0	77,0	79,0	66,0	70,0	79,0	74,7
10	86,0	77,0	78,0	68,0	88,0	74,0	72,0	75,0	83,0	88,0	74,0	89,0	79,3
11	73,0	70,0	70,0	82,0	80,0	66,0	79,0	77,0	77,0	90,0	81,0	68,0	76,1
12	86,0	77,0	****	82,0	87,0	88,0	79,0	68,0	74,0	79,0	83,0	92,0	81,4
13	78,0	80,0	****	76,0	83,0	77,0	86,0	88,0	86,0	88,0	89,0	88,0	83,5
14	84,0	88,0	****	89,0	72,0	67,0	80,0	88,0	91,0	86,0	86,0	83,0	83,1
15	84,0	83,0	****	79,0	80,0	61,0	85,0	90,0	80,0	82,0	87,0	80,0	81,0
16	88,0	83,0	71,0	86,0	86,0	87,0	70,0	83,0	76,0	72,0	84,0	83,0	80,8
17	80,0	81,0	84,0	87,0	79,0	87,0	79,0	80,0	86,0	76,0	84,0	82,0	82,1
18	77,0	82,0	79,0	81,0	80,0	82,0	65,0	73,0	76,0	73,0	77,0	93,0	78,2
19	80,0	84,0	86,0	83,0	71,0	84,0	81,0	77,0	82,0	84,0	80,0	84,0	81,3
20	87,0	83,0	88,0	81,0	82,0	81,0	63,0	92,0	57,0	84,0	76,0	82,0	79,7
21	80,0	81,0	81,0	83,0	85,0	76,0	77,0	81,0	78,0	79,0	81,0	83,0	80,4
22	78,0	80,0	73,0	87,0	79,0	74,0	75,0	74,0	73,0	86,0	68,0	83,0	77,5
23	86,0	84,0	62,0	82,0	88,0	74,0	76,0	77,0	76,0	91,0	85,0	86,0	80,6
24	82,0	81,0	70,0	90,0	82,0	77,0	87,0	76,0	75,0	87,0	80,0	79,0	80,5
25	73,0	82,0	75,0	77,0	71,0	73,0	84,0	79,0	82,0	80,0	90,0	87,0	79,4
26	80,0	84,0	76,0	84,0	83,0	83,0	87,0	71,0	79,0	****	86,0	89,0	82,0
27	83,0	86,0	74,0	85,0	77,0	76,0	82,0	81,0	85,0	****	89,0	88,0	82,4
28	81,0	83,0	87,0	84,0	88,0	75,0	82,0	83,0	80,0	****	87,0	82,0	82,9
29	67,0	****	89,0	90,0	82,0	79,0	80,0	76,0	80,0	83,0	84,0	79,0	80,8
30	80,0	****	82,0	88,0	82,0	79,0	85,0	71,0	79,0	89,0	81,0	88,0	82,2
31	78,0	****	89,0	****	82,0	****	81,0	63,0	****	83,0	****	82,0	79,7
<b>SUM</b>	<b>2461,0</b>	<b>2303,0</b>	<b>2211,0</b>	<b>2468,0</b>	<b>2549,0</b>	<b>2343,0</b>	<b>2444,0</b>	<b>2450,0</b>	<b>2315,0</b>	<b>2291,0</b>	<b>2450,0</b>	<b>2606,0</b>	<b>28891,0</b>
<b>MED</b>	<b>79,4</b>	<b>82,2</b>	<b>81,9</b>	<b>82,3</b>	<b>82,2</b>	<b>78,1</b>	<b>78,8</b>	<b>79,0</b>	<b>77,2</b>	<b>81,8</b>	<b>81,7</b>	<b>84,1</b>	<b>80,7</b>
<b>MAX</b>	<b>88,0</b>	<b>90,0</b>	<b>92,0</b>	<b>90,0</b>	<b>89,0</b>	<b>90,0</b>	<b>89,0</b>	<b>92,0</b>	<b>91,0</b>	<b>91,0</b>	<b>90,0</b>	<b>93,0</b>	<b>93,0</b>
<b>MIN</b>	<b>67,0</b>	<b>70,0</b>	<b>62,0</b>	<b>68,0</b>	<b>71,0</b>	<b>61,0</b>	<b>63,0</b>	<b>63,0</b>	<b>57,0</b>	<b>66,0</b>	<b>68,0</b>	<b>68,0</b>	<b>57,0</b>

Fuente: SENAMHI 2018

## **2.5. Materiales**

### **Escritorio**

- Computadora
- Calculadora
- Bolígrafo
- Impresora
- Lapicera
- Cuaderno

### **Material de Campo**

- Pala
- Carretilla
- Manguera
- Picota
- Lavador
- Manguera
- Flexómetro
- Llave
- Alicata
- Sierra
- Cuaderno de campo
- Cámara fotográfica
- Cuestionario de entrevista

### **Material para construcción del biodigestor**

- Polietileno color blanco 300 micrones de 4 metros (biodigestor)
- Polietileno color blanco de 150 micrones de 10 metros (techo)
- Polietileno color negro de 250 micrones de 1,5 metros (reservorio)
- 2 Tubo PVC 4 Pulgadas de 1m de largo
- 1 Tubo de 3 metros de largo PVC  $\frac{3}{4}$
- 1 unión hembra macho  $\frac{3}{4}$
- 1 Unión PVC  $\frac{3}{4}$
- 1 Llave de paso  $\frac{3}{4}$

- 1 Llave de paso de ½
- 1 Reducción de ¾ a ½.
- 1 Manguera de gas
- Liga de neumático
- 1 Pegamento
- 1 Rollo de alambre de amarre
- Bolsas de yute
- Paja

#### **Reactivos**

- Agua
- Estiércol de ganado vacuno

### **2.6. METODOLOGÍA**

La metodología utilizada en la investigación se adapta con características propias al objetivo, técnicas y controles establecidos. El trabajo se enmarca dentro de una investigación de tipo descriptiva, experimental y explicativa considerando variables cualitativas y cuantitativas.

La experimentación establece relaciones de causa-efecto y se ocupa de descubrir, comprobar, confrontar, negar o confirmar teorías, y eventualmente, como consecuencia, formular leyes. (Niño Rojas,2011)

Descriptiva:

Su propósito es describir la realidad objeto de estudio, un aspecto de ella, sus partes, sus clases, sus categorías o las relaciones que se pueden establecer entre varios objetos, con el fin de esclarecer una verdad, corroborar un enunciado o comprobar una hipótesis. (Niño Rojas,2011)

Comprende la descripción del funcionamiento de la lechería en la propiedad la Esperanza, e identificación del manejo de los residuos fecales del ganado vacuno en las instalaciones.

Experimental:

Esta modalidad tradicional de estudio se orienta más dentro de la investigación cuantitativa que la cualitativa, aunque ésta no se excluye. Su propósito es validar o comprobar una hipótesis. Para ello se vale del experimento el cual “consiste en someter un objeto en estudio a la influencia de ciertas variables, en condiciones

controladas y conocidas por el investigador, para observar los resultados que la variable produce en el objeto” (Cerde, 2000).

Se cuantifica y promedia la cantidad de estiércol del ganado vacuno que se genera en la propiedad y el requerido para ser utilizado en un biodigestor piloto, y se registran parámetros de pH, temperatura ambiente y tiempo de retención hasta la producción de biogás y abono orgánico y descubrir la eficiencia con la que trabaja.

Explicativa:

“Éste es el tipo de investigación que más profundiza nuestro conocimiento de la realidad, porque explica la razón, el porqué de las cosas, y es por lo tanto más complejo y delicado, pues el riesgo de cometer errores aumenta considerablemente” (Sabino, 1998).

Se proyecta la capacidad de generación de biogás y abono orgánico y el beneficio ambiental y económico de la utilización de un biodigestor en la propiedad la Esperanza.

### **2.6.1. Método de análisis**

Para el desarrollo del trabajo se optó por utilizar el método Analítico-Sintético.

El cual hace un análisis y síntesis de las cosas o fenómenos que se examinan; descompone, estudia y une todas las partes que pudieron separarse en el análisis y las integra hasta completar todo y demostrar la verdad del conocimiento (Eliseo Raul,2009).

Al conocer el funcionamiento de la lechería en la propiedad la Esperanza por medio de la observación participativa realizando repetitivas visitas a la propiedad y aplicando entrevistas al personal de trabajo encargados del manejo de la lechería y el manejo de los residuos se descubrirá en primera instancia, las afectaciones que existen por la acumulación del estiércol del ganado vacuno, para probar un biodigestor piloto que aproveche el estiércol disponible y lo transforme en energía limpia (biogás) para determinar los beneficios económicos y ambientales que esta tecnología aporta a la lechería.

## **2.6.2. Técnica de Recolección de Información**

Las técnicas utilizadas en este trabajo de investigación son la observación participativa y la entrevista estructurada con respuestas abierta (Ver Anexo 1).

## **2.6.3. Instrumento de recogida de información**

Para registrar lo observado se utiliza una cámara fotográfica y un cuaderno de apuntes y para la elaboración de la entrevista se arma un cuestionario y con ayuda de una grabadora del celular se procede a formular las preguntas abiertas al personal de trabajo en la lechería.

## **2.6.4. Estructura Metodológica**

El presente trabajo de investigación se realizó en 3 fases: fase de gabinete, fase de campo, fase de post campo. Involucra las siguientes actividades:

### **2.6.5. Fase de gabinete**

#### **2.6.5.1. Recopilación de Información secundaria**

La recolección de la información en la propiedad La Esperanza, identifica el desarrollo de la actividad lechera, la distribución de ambientes, las falencias existentes y el manejo que recibe el estiércol del ganado vacuno producido en los corrales desde la limpieza hasta su destino final.

#### **2.6.5.2. Elaboración de Entrevista**

Dentro de esta fase es necesario destacar dos momentos relevantes: la elaboración del cuestionario para la recogida de información, en forma de guion abierto, elaboradas previa observación y que considera las siguientes variables:

- Limpieza de los corrales.
- Cantidad de estiércol que se genera en los corrales por día.
- Tratamiento que se da al estiércol.
- Usos del estiércol animal.
- Forma y época de aplicación del estiércol en terrenos.
- Equipo a usar para la remoción del estiércol.

Y el desarrollo de las entrevistas, que graba las respuestas de los informantes sobre el tema en estudio y se formula un informe. (Ver Anexo 1).

## 2.6.6. Fase de campo

### 2.6.6.1. Construcción de Biodigestor

Se cuantifica y promedia la cantidad de estiércol de ganado vacuno obtenido generado en los corrales 1 y 2 y la cantidad utilizable para el biodigestor piloto, para generar biogás y abono orgánico, proporcionalmente al tamaño de la manga, hasta obtener resultado de su eficiencia.

### 2.6.6.2. Calculo de Estiércol Producido en los Corrales

Para calcular la cantidad que se genera de estiércol diario, se optó por la relación obtenida del manual de biodigestores de bajo costo de (Martí.2008), que dice así: “El estiércol de ganado bovino se produce generalmente en una proporción de 8kg/día por cada 100kg de peso por animal”, este método consiste en tomar los pesos de las vacas Tabla 19 y 20, aplicar una regla de tres para obtener la cantidad de estiércol que produce cada vaca/día de acuerdo a su peso sacar una media y su desvío estándar.

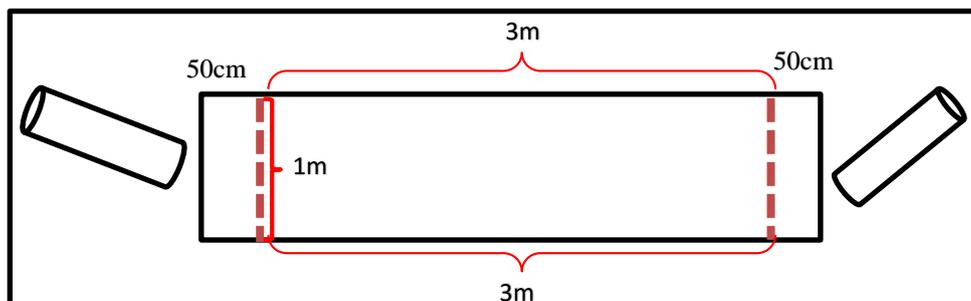
### 2.6.6.3. Determinación del Tamaño del Biodigestor Piloto

El tamaño de la manga toma como proporción un espacio de experimentación a razón de que, en primera instancia se construye un prototipo, dicho esto el tamaño del biodigestor es de 3 m de largo y 1 m de ancho, con un espesor de 300 micrones.

### 2.6.6.4. Cálculo de Volumen de la Manga

El largo del nailon es de 4 m, pero éste pierde 50 cm en cada extremo para ajustar los tubos de entrada y salida del equipo, entonces para el cálculo del volumen de la manga se toma en cuenta un largo de 3 m. Figura 2

**Figura 2 Detalle del Tamaño de la Manga**



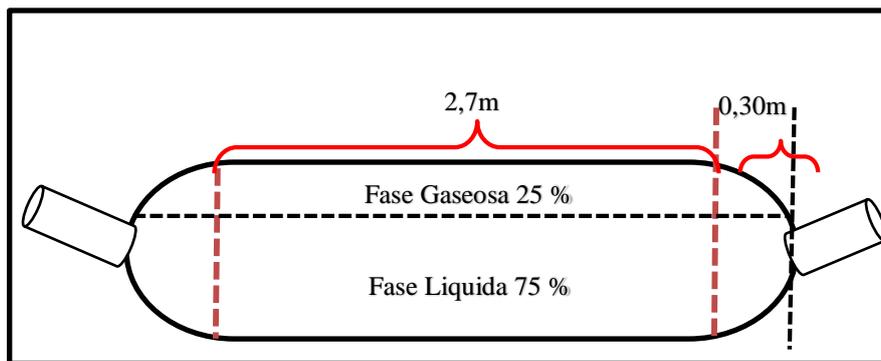
Fuente: Elaboración propia

Para calcular el volumen de biodigestor se considera las características del digestor de “tipo manga”, que según Martí. (2008) describe que el 75% del volumen debe estar constituido por la fase líquida y el 25 % debe contener la fase gaseosa.

En el armado de la manga al sujetar los tubos de entrada y salida del biodigestor en los extremos, la manga toma la forma de un cilindro y un casquete a los extremos.

Figura 3

**Figura 3 Forma del Biodigestor y Espacios que Ocupa**



Fuente: Elaboración Propia

Ante estas aclaraciones para el cálculo del volumen del biodigestor se utilizarán fórmulas matemáticas del volumen de un cilindro y el volumen de un casquete para después sumarlo y encontrar el volumen total. Se toma en cuenta los datos a utilizar de la Figura 3.

Volumen de un cilindro:

$$V = \pi \times r^2 \times L$$

Donde:

Vc= Volumen del cilindro

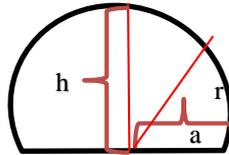
L= Largo de la manga

r= Radio

Al existir un casquete en los extremos del cilindro se optó por hacer por separado los ejercicios, sabiendo de igual manera que el volumen del casquete 1 es igual al volumen del casquete 2.

Volumen del casquete (Vca):

**Figura 4 Volumen de un Casquete**



fuelle: Elaboración propia

$$V_{ca} = \frac{\pi h}{6} \cdot (3a^2 + h^2)$$

Donde:

Vca= Volumen de un casquete

r= Radio

h= Altura

a= Ancho

Sumatoria de los resultados:

$$\Sigma V_{TB} = V_C + V_{CA1} + V_{CA2} =$$

### **Volumen del Sustrato y la Fase Gaseosa del Biodigestor**

fase líquida; relación de la mezcla de la materia prima (estiércol) y el agua 75% y la fase gaseosa con el 25%.

Donde:

VL = volumen líquido (75%)

VG= volumen gaseoso (25%)

VM= volumen de la manga

### **Volumen del Reservorio**

El reservorio presenta una forma de esfera con dos amarres a los extremos al igual que el biodigestor, es por eso que se utiliza la fórmula matemática del volumen de una esfera

Datos:

r: 050m

d: 1m

### 2.6.6.5. Construcción del Biodigestor

La construcción del biodigestor sigue tres fases:

#### Fase 1: Diseño del sistema de biodigestión

En esta primera fase se diseña el sistema de biodigestión, lo más cercano posible a los corrales donde se encuentra el ganado vacuno

##### *Selección del Lugar*

La selección del lugar determina, en gran medida, el éxito de la tecnología, por lo que el mismo debe estar libre de escombros, de árboles o algún techo que pueda tapar la manga de los rayos del sol.

##### *Medición y Excavación de la fosa*

Para la dimensión de la zanja se considera el volumen del biodigestor, el ancho y largo de la manga de plástico que se utilizará. En la tabla 16 se exponen algunos ejemplos para proceder con la excavación.

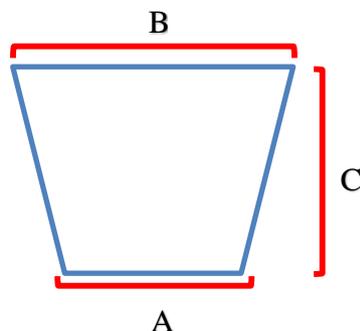
**Tabla 17 Dimensiones del Rollo según el Ancho del Plástico**

DIMENSIONES	ANCHO DEL ROLLO (m)		
	1	2,5	5
A	0,50	0,75	1,50
B	0,60	1,25	2,5
C	1	1,5	5

Fuente: Indio Hatuey. 2012

Nótese que los lados referidos en la tabla son los señalados en el esquema del corte transversal de la zanja Figura 5.

**Figura 5 Esquema de Zanja para Biogás**



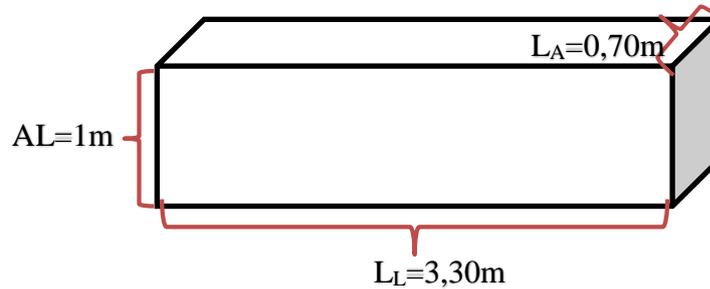
Fuente: Elaboración propia

##### *Adecuación de la Fosa*

Este trabajo evita que salientes de piedra, y otros puedan quedar expuestos atentando contra la vida útil del digestor, al rasgar sus paredes. Posee una pared de ladrillo por

lo cual se calcula el material a utilizar, tomando en cuenta la Figura 6 y la Tabla 17 para el material

**Figura 6 Pared de la fosa**



Fuente: Elaboración propia

Donde:

AL= altura

LL= Lado largo

LA= Lado ancho

**Tabla 18 Materiales para la Construcción de un Muro de Ladrillo**

Material	Rendimiento	Precio Unitario ( Bs.)	Total
Cemento	15,00 (Kg)	1,11	16,65
Arena fina	0,07(m <sup>3</sup> )	136,5	9,56
Ladrillo	35( pza.)	1.20	42

Fuente: Presupuesto y construcción. 2017

### *Techado de la Fosa*

Se techa el biodigestor para mantener la temperatura del mismo y evitar que las lluvias puedan entrar a la fosa, además de proteger el plástico de cualquier material o animal que pueda romper la bolsa.

### **Fase 2: Construcción del Sistema de Biodigestión**

En esta segunda fase se construye el sistema de biodigestión y se instalan todos los accesorios a utilizar (tuberías, llaves, manguera, etc.) que conducen el biogás desde la manga hasta el reservorio y finalmente hasta la cocina.

### *Armado de la manga*

Para armar la manga se utiliza los materiales que se especificaron anteriormente en la lista de materiales y se procede al armado en un lugar que no contenga materiales cortantes u otros que puedan dañar el plástico.

### **Fase 3: Evaluación del Funcionamiento del Biodigestor**

En la tercera fase se activa el biodigestor cargándolo hasta el límite de su capacidad líquida, hasta la prueba de combustión.

#### **2.6.6.6. Control de Parámetro en el Proceso de Digestión Anaerobia**

##### **2.6.6.6.1. Temperatura de la Disolución**

La temperatura de la disolución está en función a la temperatura ambiente (clima) del lugar de estudio, dependiendo de esto la temperatura que se origina dentro del biodigestor varía y también debido a la fase en la que el proceso de digestión se encuentre.

##### **2.6.6.6.2. Tiempo de Retención del Sustrato en el Biodigestor**

El tiempo de retención depende de la temperatura del lugar para la comunidad de San Andrés sus temperaturas medias se pueden ver en las Tablas 13 y 14 y la materia a fermentar (estiércol vacuno). Para este trabajo se estimó un tiempo de retención entre 30 a 100 días tiempo estimado según el rango de temperatura mesofílica (ver Tabla 10).

##### **2.6.6.6.3. Control de pH**

La técnica empleada para la selección de muestras fue el, Muestreo intencionado: también recibe el nombre de sesgado. El investigador selecciona los elementos que a su juicio son representativos, lo que exige un conocimiento previo de la población que se investiga. (Behar Rivero, 2008).

Una vez que el proceso de digestión anaerobia comienza, el pH debe conservar valores que oscilen entre 6 hasta 7,6 y 8.

Cuando los valores aumentan son un indicativo del desequilibrio entre las bacterias de la fase ácida y la metanogénica provocada por una variación de la temperatura o la presencia de inhibidores.

Para controlar la variación de pH se sacó muestras del biodigestor una vez por semana utilizando un instrumento creado y ajustado para obtener la muestra, que consiste en un vaso de muestra con un fierro del lugar de 1,5 m de largo y cinta aislante para juntar las piezas ver Figura 29 y para la medición de pH, se utilizó cintas de pH universal y se registró las variaciones existentes en el proceso.

**Tabla 19 Efectos del pH en la Biodigestión**

<b>pH</b>	<b>Efecto</b>
7- 7,6	Óptimo
$\leq 6,2$	Retarda la acidificación
$\geq 7,6$	Retarda la amonización

Fuente: BIOBOLSA 2018

#### **2.6.6.7. Estimación de la Producción de Biogás**

Para estimar la producción de biogás se utilizaron fórmulas, en función a los sólidos totales y sólidos volátiles que contiene el estiércol bovino. Que toma en cuenta la Tabla 6 y además la prueba de combustión.

#### **2.6.6.8. Fase post Campo**

Permite analizar los resultados obtenidos del prototipo y proyectar los beneficios económicos y ambientales que conlleva la utilización de esta tecnología.

##### **2.6.6.8.1. Elaboración de un Manual para la utilización de Biodigestor**

Se procedió a elaborar un manual para la utilización del biodigestor y biogás, debido a que este es un combustible inflamable capaz de causar daños significativos o importantes por este motivo es preferible brindar un manual de uso del biodigestor para utilizar este equipo.

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 3.1. Descripción del Manejo de la Lechería y el Manejo del Estiércol en la Propiedad La Esperanza

La Propiedad La esperanza cuenta con terreno de 3 hectáreas, el cual se encuentra dividido para la actividad lechera y el cultivo, pero la principal actividad está orientada exclusivamente a la explotación de vacas lecheras siendo su actividad económica la venta de leche, en cuanto a las características del terreno posee una pendiente desde la entrada a la propiedad hasta donde se ubican los corrales del ganado vacuno distante a 220m, cuenta con energía eléctrica y con fuente de agua proveniente de una red de cañerías.

La Propiedad se encuentra distribuida en:

Dos corrales habilitados para la cría del ganado vacuno, estos corrales se encuentran en constante refacción, uno de los corrales es para la cría de novillas y el otro para las vacas productoras de leche.

Cuenta con una sala de ordeño de tipo “brete pasante”, con dos cubículos y dos succionadores con un área total de 6 m de largo y 4 m de ancho, con techo de calamina y paredes de ladrillo, piso de cemento, una pila y una cocina. Dentro de esta sala existe un ambiente que permite el resguardo del alimento balanceado, vitaminas, medicinas, refrigeradores para guardar la leche y utensilios de limpieza (esponjas, lavandina, detergentes, etc.), lavadores, y otros.

La alimentación del ganado se basa en avena, pasto, alfa y silo, que es resguardada de las lluvias al frente de la sala de ordeño tapados con nylon.

El Área destinada para el cultivo de alfa se extiende unos 200 m de ancho y 500 m de largo aproximadamente en el margen izquierdo del predio.

El área destinada para el almacenamiento del estiércol se encuentra al margen izquierdo del Corral 1 sus proporciones son de aproximadamente 6 m de largo por 3 m de ancho con una profundidad de 3 m no se encuentra techada y está en contacto directo con el suelo. El Estiércol y el orín del Corral 2 que no es recolectado por el vaquero se escurre por el drenaje a una especie de laguna a pie del Corral 2 que está a 2 metros de distancia del área de almacenamiento, en esta área se forman lixiviados por la permanencia de este residuo que se juntan con los lixiviados que escurren del

área de almacenamiento. La limpieza en los consiste en recolectar el estiércol que se genera con ayuda de una pala, trapeador y una carretilla y depositarla en el área de almacenamiento, todos los días se recolectan las heces a excepción de los días en los que llueve, en estas ocasiones el agua de la lluvia entra a los corrales y arrastra el estiércol y el orín por el drenaje.

El tipo de ganado con el que cuenta la propiedad La Esperanza es de raza Holstein y Jersey, en su totalidad son hembras, las vacas productoras se inseminan. Existen 15 vacas productoras y 11 novillas

**Tabla 20 Pesos de las Novillas Corral 1**

<b>Nº</b>	<b>Edad Meses</b>	<b>Peso de la Vaca Kg</b>
1	1	85
2	2	90
3	3	130
4	4	130
5	4	130
6	4	130
7	5	150
8	5	160
9	5	160
10	7	180
11	8	200

Fuente: Propiedad La Esperanza

**Tabla 21 Pesos de Vacas Productoras Corral 2**

<b>Nº</b>	<b>Nombre</b>	<b>Peso de la Vaca Kg</b>
1	Flor	490
2	Carla	550
3	Dulce	450
4	Mercedes	460
5	Negra	520
6	Luciana	475
7	Camila	535
8	Lorena	450
9	Picara	473
10	Mica	470

11	Lola	480
12	Pocha	450
13	Alondra	530
14	Luna	550
15	Moni	485

Fuente: propiedad La Esperanza

### 3.2. Cálculo del Volumen del biodigestor ( $V_B$ )

Por la forma que presenta la manga del biodigestor al inflarse se emplea la fórmula matemática del volumen de un cilindro y el volumen de un casquete por la terminación en los extremos de la manga (Figura 3).

$$V_c = \pi * r^2 * L$$

Donde:

$V_c$  = Volumen del cilindro ( $m^3$ )

(L) = Largo (m)

(r) = Radio (m)

$$V_c = \pi * 0,50m^2 * 2,7m$$

$$V_c = 2,12058m^3$$

$$2,12058 m^3 * \frac{1000\ell}{1m^3} = 2120 \ell$$

Se calcula el volumen de un casquete ( $V_{ca}$ ) sabiendo que el cálculo del  $VC_{A1} = VC_{A2}$  por que ambos casquetes están en los extremos de la manga, por lo que tienen las mismas medidas. véase Figura 3 y 4

$$V_{ca_1} = \frac{\pi h}{6} (3r^2 + L^2)$$

Donde:

$V_{ca_1}$  = volumen casquete 1

$\pi = 3,1416$

L = Largo (m)

r = radio (m)

$$V_{ca_1} = \frac{\pi 0,30m}{6} (0,30m^2 + 0,50m^2)$$

$$V_{ca1} = 0,0534070m^3$$

$$V_{ca1} = V_{ca2}$$

Se emplea la sumatoria de los volúmenes encontrados, para determinar el volumen del biodigestor;  $\Sigma V_{TB} = V_B$

$$\Sigma V_{TB} = V_c + V_{ca1} + V_{ca2} =$$

Donde:

$V_{TB}$ = Volumen total del biodigestor

$V_c$ = volumen Cilindro

$V_{ca1}$ = Volumen casquete 1

$V_{ca2}$ = Volumen casquete 2

$$2,12m^3 + 0,0534070m^3 + 0,0534070m^3 = 2,70m^3$$

$$2,7m^3 \times \frac{1000 \ell}{1m^3} = 2700 \ell$$

### 3.2.1. Cálculo del Volumen que Ocupa el Sustrato y la Fase Gaseosa del Volumen Total del Biodigestor

La forma cilíndrica o tubular que tiene el biodigestor permite que el sustrato al introducirse se mantenga fijo en la parte inferior ocupando un 75% del  $V_{TB}$  y por las reacciones anaeróbicas se forme una fase gaseosa en la parte superior ocupando un espacio del 25%.

Como el volumen Total del Biodigestor es de 2700  $\ell$  y el volumen a ocupar del sustrato es un 75% y la fase gaseosa un 25% se tiene:

$$\text{Volumen del Sustrato } (V_S) = 2700 \ell * 0,75 = 2025 \ell$$

$$\text{Volumen de la Fase Gaseosa } (V_{FG}) = 2700 \ell * 0,25 = 675 \ell$$

El  $V_{FG}$  es el volumen del biogás que se adapta al volumen de la manga bajo condiciones de temperatura y presión. Dicho esto, las unidades deben estar en  $m^3$  para expresar la concentración de biogás.

Entonces:

$$675 \ell * \frac{1 m^3}{1000 \ell} = 0,675m^3$$

El volumen del biodigestor tiende a variar a medida que el polietileno se desgasta debido a la presión que ejerce el biogás, dentro de la manga.

### *Presión de operación del biodigestor*

La presión del biodigestor trata de un radio interno y el espesor de pared de la manga (300 micrones), el que contiene el sustrato a una determinada presión ejercida por el biogás; por lo tanto, existen esfuerzos tangenciales y longitudinal.

Saavedra R. (2017) llega a la conclusión de que los biodigestores de polietileno no tienen problemas de resistencia mecánica y pueden utilizarse eficientemente, ya que soportan presiones mayores a 1 m de columna de agua que equivale a 0,1 atmósfera y 10.132,5 Pascales. No obstante, se debe tener en cuenta que, si la presión es constante, el polietileno se extenderá aumentando el radio interno y disminuyendo su espesor, lo cual significa que la presión que es capaz de soportar el material, será cada vez menor.

Por esta razón para evitar el desgaste de la manga es importante colocar un reservorio para almacenar el biogás que se genera y no es utilizado en el día.

### **Volumen del Reservorio (V<sub>R</sub>):**

Por la forma que presenta el reservorio al inflarse se emplea la fórmula matemática del volumen de una esfera. El tamaño del reservorio considera facilitar la prueba de combustión.

V<sub>E</sub>= volumen de una esfera

$$V_E = \frac{4}{3} * \pi * r^3$$

Donde:

Radio (r)= 0,50m

$$V_E = \frac{4}{3} * \pi * (0,50m)^3$$

$$V_E = 0,524m^3$$

El volumen del reservorio es de 0,524m<sup>3</sup>. El volumen de biogás que se genera por día por el proceso discontinuo del biodigestor, se almacena en el mismo biodigestor, sin embargo, con el reservorio se pretende cubrir la demanda energética del día. Por otro

lado, el biogás debe llegar al punto de consumo en este caso la cocina con cierta presión, por lo cual el reservorio debe estar sometido a una presión.

### 3.2.2. Cálculo del Volumen de la Carga inicial del biodigestor

Cuando el biodigestor es instalado, se realiza una primera carga, de estiércol y agua, en la proporción 1:3 que quiere decir 1 kg de estiércol y 3 ℓ de agua hasta tapar la entrada y salida, para así asegurar una atmosfera anaeróbica. El volumen del sustrato es de 2025ℓ que representa el 75% del volumen total del biodigestor.

Desarrollo:

Como el volumen total de sustrato es de 2025 ℓ y la relación es de 1:3, entonces se tienen 4 partes, por lo que:

volumen de cada parte =  $2025 \text{ ℓ} / 4 = 506,25 \text{ ℓ}$

volumen de estiércol = 506,25 ℓ (con su densidad se transforma a kg)

volumen de agua =  $3 * 506,25 \text{ ℓ} = 1518,75 \text{ ℓ} = 1519 \text{ ℓ}$

**Tabla 22 Carga Inicial del Sustrato al Biodigestor**

Nº Carga	Fecha	Cantidad Estiércol/Agua	Material de Recolección	Material de Acondicionamiento del Sustrato y de Carga al Biodigestor
1	29/01/018	320kg/ 960ℓ	carretilla, pala y un trapeador	Balde más palo de madera y un embudo prefabricado de botella de aceite para la carga al biodigestor.
2	30/01/018	186kg/ 558ℓ		

Fuente: Elaboración propia

El biodigestor presenta un sistema de carga diaria (régimen semicontinuo), para la producción de biogás y abono orgánico, para lo cual una vez producido el gas se debe realizar cargas diarias. Para determinar la carga diaria de ingreso a la manga se toma el tiempo de retención 50 días que, por las condiciones climáticas de la zona, tardo en producir biogás, a partir de este dato se procede con la siguiente relación:

$$V_{CD} = V_S / TR$$

Donde:

$V_{CD}$  = Volumen de la carga diaria  $\ell$ /día

$V_S$  = Volumen sustrato( $\ell$ )

TR = Tiempo de retención (día)

$$V_{CD} = 2025 \ell / 50 \text{ días}$$

$$V_{CD} = 41 \ell / \text{día}$$

Es decir que, para un tiempo de retención de 50 días, la carga diaria posterior a estos días debe ser carga 41  $\ell$  de disolución estiércol – agua, dicha cantidad se recomienda para evitar una sobrecarga que pueda variar el pH y resulte contraproducente en el proceso de digestión anaeróbica.

Esta disolución equivale a: 10,5 kg de estiércol con 30,5  $\ell$  de agua

### **3.3. Resultados de la Cuantificación del Estiércol Disponible en La Propiedad La Esperanza**

Para obtener el promedio de estiércol que produce diariamente una vaca, se utilizó la fórmula de la media aritmética que suma el total del estiércol producido por vaca/día, y divide el total por el número de vacas existentes y la desviación estándar, que sirve para conocer la desviación que presentan los datos en su distribución respecto a la media aritmética de dicha distribución. Es decir, nos muestra una visión más acorde con la realidad en el momento de tomar las decisiones.

#### **3.3.1. Estiércol Disponible en Vacas Corral 1 y 2:**

RELACIÓN:

Producción de estiércol diario: 8kg/100kg de peso de vaca

8kg estiércol día - 100kg de peso de vaca

X - kg de peso de vaca

Media aritmética:

$$\text{media aritmética} = \frac{\sum X}{N^{\circ}}$$

Donde:

$\Sigma X$ = Suma del total de datos

$N^\circ$ = Número total de datos

Desvió estándar (s):

$$s = \sqrt{\frac{\Sigma(x - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

Donde:

s= desviación estándar

$\Sigma(x - \bar{x})^2$ = suma de los valores al cuadrado

N= Número total de datos

**Tabla 23 Generación de Estiércol en el Corral 1**

Nº	Edad Meses	Peso de la vaca kg	Peso estiércol diario kg	Desvíos	
				X- X	(X-X) <sup>2</sup>
1	1	85	6,8	-4,4363	19,68075769
2	2	90	7,2	-4,0363	16,29171769
3	3	130	10,4	-0,8363	0,69939769
4	4	130	10,4	-0,8363	0,69939769
5	4	130	10,4	-0,8363	0,69939769
6	4	130	10,4	-0,8363	0,69939769
7	5	170	13,6	2,3637	5,58707769
8	5	170	13,6	2,3637	5,58707769
9	5	170	13,6	2,3637	5,58707769
10	7	230	18,4	7,1637	51,31859769
11	8	250	20	8,7637	76,80243769
Sumatoria		1685	134,8		183,6523346
Media		153,181818	12,25454545		
Desvió estándar					1,35

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 24 Generación de Estiércol Diario en el Corral 2**

Nº	Nombre	Peso de la Vaca kg	Peso Estiércol Diario kg	Desvíos	
				x-x	(x-x) <sup>2</sup>
1	Flor	490	39,2	-0,096	0,009216
2	Baya	550	44	4,704	22,127616
3	Ancora	450	36	-3,296	10,863616
4	Mercedes	460	36,8	-2,496	6,230016
5	Negra	520	41,6	2,304	5,308416
6	Cierva	475	38	-1,296	1,679616
7	Castaña	535	42,8	3,504	12,278016
8	Corza	450	36	-3,296	10,863616
9	Patrona	473	37,84	-1,456	2,119936
10	Rosa	470	37,6	-1,696	2,876416
11	Lola	480	38,4	-0,896	0,802816
12	Pocha	450	36	-3,296	10,863616
13	Alondra	530	42,4	3,104	9,634816
14	Luna	550	44	4,704	22,127616
15	Moni	485	38,8	-0,496	0,246016
Sumatoria		7368	589,44		118,03136
Media		491,2	39,296		
Desvió estándar					2,90

Fuente: elaboración propia

Respuesta:

El promedio de estiércol que se produce por vaca/día en el corral 1 es de 12,25454545kg

Y el desvió estándar es 1,35

El promedio de estiércol que se produce por vaca/día en el corral 2 es de 39,296kg.

Y el desvió estándar es 2,90

Sabiendo el promedio de estiércol que se produce por vaca/día se toma el número de vacas existentes, para corral 1: 11 vacas y para corral 2: 15 vacas y se procede a efectuar la siguiente ecuación:

$$Etr = Epv * Vr$$

donde:

Etr = Cantidad total de estiércol generado en el corral en un día.

Epv = Cantidad promedio de estiércol generada por una vaca al día.

Nvp = Número de cabezas de ganado disponible en el corral

Datos:

Etr: ¿?

Epv: 11,23636364 kg/día (corral 1)

Epv: 39,29 kg/día (corral 2)

Nvp: 11 (corral 1)

Nvp: 15 (corra 2)

**Corral 1:**

$$Etr = 12,25454545Kg/vaca/dia * 11 vaca$$

$$Etr = 134,8 kg/dia...$$

**Corral 2:**

$$Etr = 39,29kg/vaca/dia * 15 vaca$$

$$Etr = 589,35kg/dia...$$

Respuesta:

La cantidad de estiércol que genera de 11 novillas por día en el corral 1 es de 134,8kg/día

La cantidad de estiércol que genera de 15 vacas por día en el corral 2 es de 589,4kg/día.

Sumando estos dos resultados tenemos:

134,8kg/día + 589,4kg/día= 724,2kg de estiércol/día que se produce en la propiedad

La Esperanza.

### **3.4. Resultados de la Construcción del Biodigestor de Tipo Manga a Escala Piloto**

#### **Fase 1:**

#### **Lugar de Ubicación del Biodigestor y Tamaño de la Fosa**

El biodigestor está situado cerca del almacén, a 8 metros del corral donde están los residuos fecales, la fuente de agua se encuentra a lado del almacén y el sitio cuenta con acceso a los rayos solares. (Ver figura 16).

#### **Adecuación de la Fosa**

Para la excavación de la fosa se tomó en cuenta la Tabla 17 y la figura 5, con la diferencia que el corte es recto porque cuenta con una pared de ladrillo debido a la humedad existente en la zona de estudio y se adaptada a las siguientes dimensiones:

Datos:

$$AL = 1\text{m}$$

$$L_L = 3,30\text{m}$$

$$L_A = 0,70\text{m}$$

Para calcular el total del material a utilizar en las paredes de ladrillo de la fosa se hizo el siguiente cálculo tomando en cuenta la figura 6 y Tabla 18

Calculo del área de la fosa ( $A_F$ ):

$$A_F = AL * P$$

Donde:

$A_F$ = área fosa

$P$ = perímetro

$AL$ = altura

Perímetro de las paredes ( $P$ ):

$$P = 2L_A + 2 L_L$$

Donde:

$L_L$ = largo

$L_A$ =ancho

$$P = 2L_A + 2 L_L$$

$$P = 2 * 3,30\text{m} + 2 * 0,70\text{m}$$

$$P = 8\text{m}$$

$$A_F = AL * P$$

$$A_F = 1\text{m} * 8\text{m}$$

$$A_F = 8\text{m}^2$$

Cemento a utilizar:

$$1\text{m}^2 \text{ ----- } 15\text{kg}$$

$$8\text{m}^2 \text{ ----- } x \quad x = 120 \text{ kg cemento}$$

Se utiliza 120kg de cemento para la construcción de la fosa

Ladrillo a utilizar:

$$1\text{m}^2 \text{ ----- } 35\text{piezas de ladrillo}$$

$$8\text{m}^2 \text{ ---- } x \quad x = 280 \text{ ladrillos}$$

Se necesita 280 ladrillos para la fosa.

Volumen de la fosa:

Se toma en cuenta el ancho del ladrillo que equivale a 0,20m

Volumen de las dos paredes  $L_L = 6,4m * 1m * 0,20m = 1,28m^3$

Volumen de las dos paredes  $L_A = 1,4m * 1m * 0,20 = 0,28m^3$

Arena a utilizar:

$1m^3$  -----  $0,07m^3$

$1,28m^3$  ----- x      $x = 0,089m^3$

$1m^3$  -----  $0,07m^3$

$0,28m^3$  ----- x      $x = 0,019m^3$

Total =  $0,108m^3$

Respuesta; se necesitó  $0,108m^3$  de arena

El suelo se compacto, y se cubrió con pasto bolsas y nylon en su totalidad para evitar que se dañe el plástico del digestor o filtre agua.

### **Techado de la Fosa**

Se utilizó tubo de media pulgada y fierro de sosten para el nylon de 150micrones para armar un invernadero en U, que permita absorber y mantener el calor dentro y no permita el ingreso de la lluvia. Véase Figura 19.

### **Fase 2:**

### **Construcción del Sistema de Biodigestión**

#### **Armado de la Manga**

Todo el armado se hizo en el mes de noviembre:

desdoblamiento de la manga de 4m de largo en el piso libre de escombros Véase Figura 20

la salida del biogás comprende los siguientes accesorios y pasos:

- Colocación de un adaptador macho- hembra, en la perforación echa a la manga,
- colocación de dos arandelas de plástico, las mismas van en el interior y exterior de la capa de polietileno. Figura 22.
- Se pegó las arandelas con el adaptador formando un sello único que evite fugas de gas.
- Se controló al momento de apretar los materiales para evitar dañar la manga.

La fijación de los tubos de entrada y salida de la manga comprende los siguientes accesorios y pasos:

- Corte de la goma de neumático en cintas de 2cm de ancho. Véase Figura 21.
- Abertura de la manga al extremo y colocación del tubo de esquema 40 de 4 plg. de alta presión de 1m de largo. Véase Figura 23.
- Se enrolla la manga a los costados hasta el centro donde está el tubo.
- Se introduce 70cm del largo del tubo dentro de la manga, a partir de los 30cm se empieza el amarre del tubo con la manga y las tiras de neumático.
- El amarre tubo tiene una distancia de 40cm dejando 30cm fuera.

Armado del reservorio:

- Se extiende un nylon de 1,40m de largo de 250 micrones en el piso libre de escombros.
- Se corta el tubo PVC de alta presión  $\frac{3}{4}$  plg., midiendo 1 de 30cm y otro de 60cm usando un serrucho de dientes finos, eliminando las rebarbas por dentro y por fuera.
- Se cortó goma de neumático en cintas de 1,5cm de ancho.
- Se abrió los extremos del nylon y se introdujo un tubo en cada extremo y con la liga de neumático se sujetó.
- Se introdujo 20cm del tubo a la manga distancia que se amarro en su totalidad.

Dejando un volumen del reservorio de la instalación de tuberías y demás accesorios de salida del biogás desde el biodigestor hasta la cocina, se tiene los siguientes pasos:

- Se cortó el mismo tubo 40cm de largo para unir a la salida del gas desde la unión hembra macho que está en la manga.
- Se colocó una llave de paso y se unió al reservorio.
- Del reservorio se fijó una reducción metálica de  $\frac{3}{4}$  plg. a  $\frac{1}{2}$  plg., una unión metálica  $\frac{1}{2}$  plg., una llave de paso de  $\frac{1}{2}$  plg. una tetilla metálica de  $\frac{1}{2}$  plg. con salida de gas y la manguera de gas de 1m de largo que llega hasta la cocinilla.
- Cuando se cortó el tubo, se limpió las partes que se unían con los accesorios con un paño limpio y seco.

Una vez armado el biodigestor y colocado en la fosa se fijaron los tubos de entrada y salida del estiércol haciendo un pequeño agujero al tubo de plástico y sujetándolo con alambre a un gancho metálico prefabricado en el piso, acción que permite que el tubo no se mueva al momento de la cargar el estiércol. Véase figura 24.

De acuerdo con los materiales listados se controló lo siguiente:

Las partes cortadas del tubo, fueron roscadas con tarraja, las partes roscadas se cubrieron con teflón para un mejor acople y evitar posibles fugas, se aplicó y se acoplaron los accesorios nombrados.

### Fase 3:

#### Evaluación del Funcionamiento del Biodigestor

En esta fase se observó la formación del biogás durante 50 días, tiempo en el cual se observaron todos los cambios dados en la manga, la prueba de combustión se hizo pasado 8 días desde la primera carga diaria.

1ra prueba: combustión baja. Se mantuvo encendido 1 minuto Se necesitó ejercer presión en el reservorio.

2da prueba: combustión media. Se mantuvo encendida 10 minutos. Se agrando la salida del pistón, para que el biogás fluya mejor.

### 3.5. Control de los Parámetros

#### 3.5.1. Control de Temperatura Ambiente

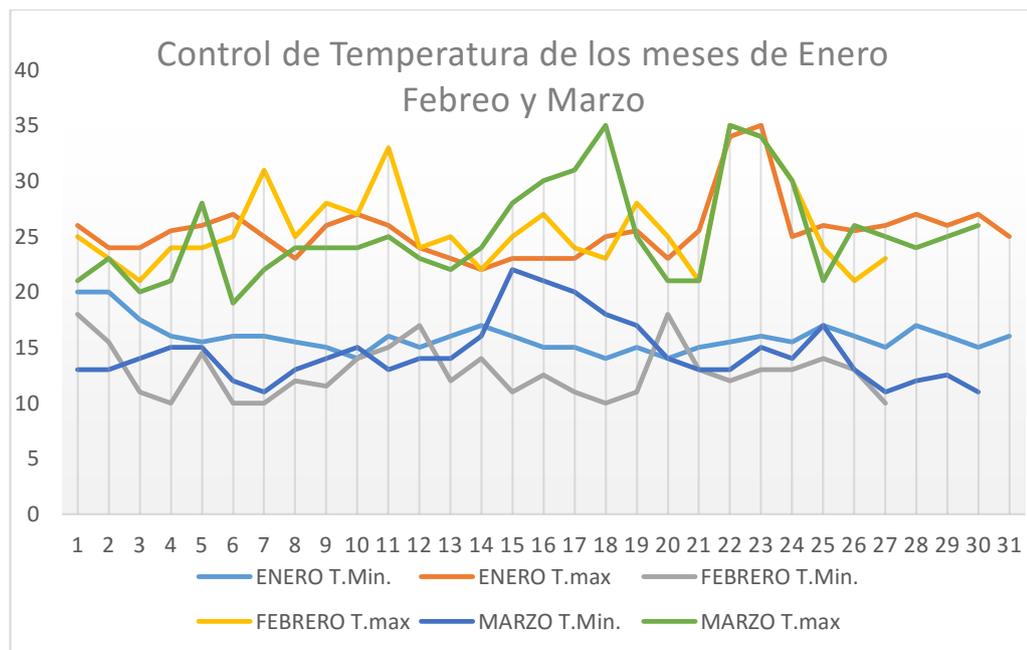
**Tabla 25 Control de Temperatura Ambiente**

DIA	ENERO		FEBRERO		MARZO	
	T. Min. °C	T. Max °C	T. Min. °C	T. Max °C	T. Min. °C	T. Max °C
1	20	26	18	25	13	21
2	20	24	15,5	23	13	23
3	17,5	24	11	21	14	20
4	16	25,5	10	24	15	21
5	15,5	26	14,5	24	15	28
6	16	27	10	25	12	19
7	16	25	10	31	11	22
8	15,5	23	12	25	13	24
9	15	26	11,5	28	14	24
10	14	27	14	27	15	24
11	16	26	15	33	13	25
12	15	24	17	24	14	23
13	16	23	12	25	14	22
14	17	22	14	22	16	24
15	16	23	11	25	14	28
16	15	23	12,5	27	15	30
17	15	23	11	24	15	31
18	14	25	10	23	18	35
19	15	25,5	11	28	17	25
20	14	23	18	25	14	21
21	15	25,5	13	21	13	21
22	15,5	34	12	35	13	35
23	16	35	13	34	15	34
24	15,5	25	13	30	14	30
25	17	26	14	24	17	21

	26	16	25,5	13	21	13	26
	27	15	26	10	23	11	25
	28	17	27			12	24
	29	16	26			12,5	25
	30	15	27			11	26
	31	16	25				
Sumatoria	492,5	793	435,5	793,0	416,5	757,0	
Media	15,9	25,6	14,5	25,6	13,8	25,2	

Fuente: Elaboración Propia

**Figura 7 Control de Temperatura de los meses de Enero Febrero y Marzo**



En el mes de enero el biodigestor trabajó con una temperatura mínima media de 15,9°C y una temperatura máxima media de 25,6 °C. En el mes de febrero el biodigestor trabajo con una temperatura mínima media de 12,4°C y una temperatura máxima media de 24,6°C y en el mes de marzo se trabajó con una temperatura mínima media de 14,5°C y una máxima de 25, 2°C. Por las temperaturas medias obtenidas podríamos decir que se trabajó dentro un rango de temperatura entre la mínima y optima en fermentación mesofílica. Véase Tabla 10.

### 3.5.2. Tiempo de Retención del Estiércol

Sabiendo que el tiempo de retención está en función del tipo de material a fermentar y la temperatura a la cual está sometido el biodigestor tenemos:

Estiércol de ganado vacuno y una temperatura de trabajo de en rango mesofílico mínimo y optimo donde el tiempo de retención esta sobre los 30 días. Para el biodigestor construido en la comunidad de San Andrés el tiempo de retención para la fermentación del estiércol hasta su prueba de combustión es de 50 días calendario, pero se puede afirmar q la presencia de gas existía a partir del día 37 ya que la manga presentaba biogás en los extremos, a los 42 días se realizaron cargas diarias, durante 8 días hasta llenar de biogás el reservorio para la prueba de llama realizado el día 50.

### 3.5.3. Control de pH

Para obtener una muestra del sustrato dentro de la manga se armó un instrumento que consta de un vaso de muestra y un fierro de 1,15m de largo adaptado al vaso con cinta aislante véase Figura24.

para controlar el pH se utilizó tiras de papel universal, estas se sumergían en la muestra del sustrato sacada de la manga por el tubo de entrada. La toma de datos se realizó cada 7 días en horas de la mañana, después de pasar 3 días desde la primera carga y los resultados se muestran en la Tabla 26

**Tabla 26 Control de pH**

<b>Muestra</b>	<b>Ph</b>	<b>Observaciones</b>
1	5,8	El pH es ligeramente alto, se considera que se encuentra así porque el estiércol está fresco y contiene mayor concentración de nutrientes, proteínas, carbohidratos y otros.
2	6,8	El pH se estabiliza
3	7,5	El pH aumenta ligeramente, puede ser debido a las reacciones que se están produciendo o por el cambio de temperaturas existentes.
4	7	El pH se estabiliza.
5	6	El pH empieza a aumentar
6	5	El pH aumenta, puede ser debido a la temperatura que bajo considerablemente, esto ocasiona una desestabilización del proceso fermentativo o que ya se encuentre en la fase metanogénica.
7	6	El biodigestor se está estabilizando. En las cargas diarias al biodigestor se aumentando 500ml de agua más por cada 2kg de estiércol para reducir el pH.

Fuente: Elaboración propia

### 3.6. Estimación Producción de Biogás por la Carga Diaria

Para estimar la producción de biogás que se genera por día en función a la carga diaria establecida para el tamaño de la manga se optó por utilizar los sólidos totales y volátiles en el siguiente cálculo.

SÓLIDOS TOTALES (ST) (Kg/m<sup>3</sup>): De forma general el estiércol fresco contiene 14 % de sólidos totales (ST) (ver tabla 7), los sólidos totales representan el peso del estiércol seco, y por lo tanto es la carga real de materia sólida que alimenta al digestor.

Ecuación:

$$ST = \frac{\text{carga estiércol} \times 0,14}{\text{volumen líquido}}$$

donde:

carga estiércol diario= 11kg

volumen líquido=2025 ℓ = 1,8m<sup>3</sup>

$$ST = \frac{11kg \times 0,14}{2,025m^3}$$

$$ST = 0,760kg/m^3.$$

SÓLIDOS VOLÁTILES (SV) (Kg/m<sup>3</sup>): Los sólidos volátiles (SV) representan la parte de los sólidos totales de estiércol que pasa a la fase gaseosa. De forma general equivalen al 83 % de los ST.

Ecuación:

$$SV = ST * 0,83kg/m^3$$

$$SV = 0,760kg/m^3 * 0,83kg/m^3$$

$$SV = 0,63kg/m^3$$

PRODUCCIÓN DE BIOGÁS (PB) (m<sup>3</sup>/ Kg SV m<sup>3</sup> Día.): Depende de la cantidad de SV que haya en la carga de estiércol. Se considera que 1 Kg de SV produce 0.27m<sup>3</sup>/kg de Biogás (PB).

PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Ecuación:

$$PB = 0,27m^3 * SV * VL$$

$$PB = 0,27m^3/kg * 0,63kg/m^3 * 2,025m^3$$

$$PB = 0,34m^3$$

Tomando en cuenta la Tabla 5 se tiene:

Para 0,9m<sup>3</sup> de gas se tiene un consumo de 2 horas o 120 minutos.

con la relación siguiente se tiene:

0,9m<sup>3</sup> de gas----- 120 minutos

0,34m<sup>3</sup> de gas ----- x

X= 45minutos

Respuesta el consumo diario que se tiene aproximadamente es de 45 minutos por día por los 0,34m<sup>3</sup> que se generan de gas/día, por la carga de 11kg de estiércol.

### 3.7. Resultados del Biodigestor Piloto de Tipo Manga

**Tabla 27 Resultados del Biodigestor Piloto de Tipo Manga**

Descripción	Unidades	Resultados
Capacidad del biodigestor	ℓ	2700
Volumen líquido del biodigestor	ℓ	2025
Volumen gaseoso del biodigestor	m <sup>3</sup>	0,675
Relación estiércol agua	1:3	1Kg estiércol + 3Lt agua
Promedio de la Cantidad generada de Estiércol/día	Kg	724,2
Primera carga de estiércol	Kg	506,25: 506
Primera carga de agua	ℓ	1518,75: 1519
Volumen de la disolución	ℓ	2025
Carga de Estiércol /día	Kg	10,5: 11
Aprovechamiento del estiércol	%	1,5
Carga de agua/día	ℓ	31.5: 32
Sustrato/día	ℓ	43
Producción de abono orgánico	ℓ/día	43
Tiempo de retención	Día	50
Rango de Temperatura de trabajo	°C	10°- 31°
Producción de biogás diaria	m <sup>3</sup>	0,34
Tiempo de duración de biogás	Min.	45

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 28 Generación de Estiércol, Biogás y Abono Orgánico para un Mes y un Año**

Descripción	Unidades	Resultados	Proyección	
			1 mes (31días)	1 año (365días)
Carga de Estiércol /día	Kg	11	341	4015
Carga de agua/día	ℓ	31,5	976,5	11497,5

Sustrato/ día	ℓ/día	43	1333	15695
Producción de biogás diaria	m <sup>3</sup>	0,34	10,54	124,1
Tiempo de duración de biogás	Hrs.	0,45	22	276

Fuente: elaboración propia

La Tabla 28 muestra la cantidad de estiércol promediado a utilizar para generar biogás en un mes y un año. Así también proyecta un promedio de la cantidad de biogás que se producirá en un mes dando como resultado 10, 54m<sup>3</sup> que equivale a 22hrs. En un mes, y en un año se producirá 124m<sup>3</sup> de biogás que equivale a 276 hrs. De consumo. Considerando que el consumo es netamente para cubrir la demanda de combustible para calentar agua que sirva para lavar y desinfectar los utensilios usados en la sala de ordeño, la producción de biogás es basta.

La producción de biogás equivale a la cantidad del sustrato que entra a la manga, aunque suele variar en algunos casos.

Cabe destacar que el estiércol promedio que se genera en la propiedad por día es de 724,2kg. y el aprovechamiento del estiércol es de 1,5%, por ser un biodigestor piloto, por lo que se tiene un 8,5% de estiércol sin aprovechar.

**Tabla 29 Proyección del Dimensionamiento del Biodigestor Según la Cantidad de Estiércol Generado**

Descripción	Unidades	Resultados	Proyección	
			1mes (31 días)	1 año (365 días)
Promedio de la Cantidad generada de estiércol/día	Kg	724	22.444	264.260
Carga de Estiércol /día	Kg	724	22.444	264.260
Carga de agua/día	ℓ	2172	67.332	792.780
Producción de abono orgánico	ℓ/día	2896	89.776	1.057.040
Producción de biogás diaria	m <sup>3</sup>	11,78	365,18	4.299,7
Tiempo de duración de biogás	Hrs	26,2	812,2	9563

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 29 toma de referencia el promedio del estiércol que se produce en la propiedad la esperanza y proyecta esta cantidad de generación a un mes dando como resultado 22450kg y en un año 8.194.323Kg. La cantidad de estiércol que se genera al mes y en un año es un referente para darle un valor económico y ambiental.

## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES

1. De acuerdo a los datos obtenidos de la entrevista realizada al personal y a la observación presencial en La Propiedad La Esperanza, esta propiedad no cuenta con un manejo adecuado del estiércol del ganado vacuno, la limpieza se limita al barrido manual de sus corrales y posterior almacenamiento del estiércol en un área que no cuenta con las condiciones necesarias para que el estiércol sea tratado y el uso del estiércol se realiza una vez al año utilizando maquinaria pesada para trasladar el estiércol del área del almacenamiento hasta el área de cultivo.

2. Los cálculos básicos realizados para obtener la cantidad de estiércol que se genera en los corrales por día en la propiedad La Esperanza, dieron como resultado que se genera 724,2 Kg/día de estiércol, dicha cantidad es apreciable para ser aprovechada como materia prima para la generación de biogás.

3. La complejidad que implica la aplicación de un biodigestor toma en primera instancia una medida experimental o piloto que sirva de referencia en la construcción posterior de un biodigestor acorde a la cantidad de estiércol existente en la propiedad, dicho esto se utilizó un nailon de 4m de largo y 1m de ancho que tiene una capacidad para 2700 ℓ, la parte líquida ocupa el 75% que corresponde al sustrato de estiércol y agua que equivale a 2025 ℓ y la fase gaseosa ocupa el 25 % que equivale a 0,675m<sup>3</sup> para almacenar el biogás.

4. El biodigestor piloto produce 0,34m<sup>3</sup> que equivale a 45min/día de uso con una carga de 11kg de estiércol/día.

5. El manual de Operación y Seguridad para el biodigestor de tipo manga elaborado evita posibles problemas que puedan surgir con la utilización del biodigestor.

6. Es posible construir un biodigestor a baja, mediana y gran escala para el tratamiento de residuos orgánicos, en la propiedad La Esperanza, ya que tecnológicamente la construcción no es un proceso complejo, su eficiencia depende

directamente de la interacción de los factores que afectan la digestión anaerobia, los mismos que podrían adecuarse realizando una mayor inversión.

#### **4.2. Recomendaciones**

- Los programas y las leyes ambientales para el manejo de residuos en lecherías deberían construirse con un enfoque más rentables de prevención y protección por el incremento de la demanda energética en la actualidad y no así aplicarse cuando ya se han producido daños significativos.
- Debido al incremento de la demanda energética en la población actual la utilización de biodigestores que generen biogás deberían promoverse como alternativa energética libre de contaminación.
- Se debe evaluar los beneficios económicos y ambientales que se obtienen del tratamiento del total de estiércol generado en la propiedad.
- El clima es un factor determinante al incorporar un biodigestor, se debe tener en cuenta la temperatura con la cual trabaja mejor el proceso de biodigestión anaerobia para que las bacterias se encuentren en un ambiente ideal y produzcan la mayor cantidad de biogás y en un corto tiempo.
- En caso de seguir acumulando excretas del ganado vacuno en la propiedad La Esperanza, es importante que el almacenamiento de las mismas, se realice por un periodo no mayor a tres días, y éste se remueva con tierra, esto con el fin de evitar la proliferación de insectos vectores de enfermedad, presencia de roedores y presencia de gases contaminantes.
- Es de vital importancia incentivar el seguimiento del uso de esta tecnología libre de contaminación al personal por parte del dueño de la propiedad La Esperanza.
- Al fomentar la práctica del uso del biodigestor, se evita la pérdida de nutrientes como es el caso del Nitrógeno que es una fuente de proteínas para los microorganismos del suelo y hace posible tener una mejor fertilidad en los suelos para el cultivo y producción de alimento para el mismo ganado.
- Para el uso del biogás en cocinillas industriales se recomienda agrandar el pitón de la salida del biogás para que éste salga sin ningún problema, o en todo caso utilizar tubo metálico y conectarlo directamente con una hornalla.

