

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Denominados abonos orgánicos de origen animal, al estiércol que se produce en la cría de animales. El estiércol lo forman los excrementos y orina de animales de ganadería y en cuya composición también pueden aparecer restos de distintos materiales que se encuentran en sus corrales como paja de cereales. Los estiércoles suelen ser de ganadería ovina, caprina, porcina, equina, vacuna o como también el de aves como es el caso de la gallinaza unos de los estiércoles más ricos en nitrógeno (Morales, s/a).

El gas metano lo encontramos en varios lados principalmente en las industrias, empresas y en el hogar, es consumidos por los seres humanos porque es un gas simple que suele andar en los aires, afecta demasiado al medio ambiente provocando que se formen gases tóxicos y hasta inflamables que de una u otra manera genera daños en la capa de ozono de nuestro planeta (Anónimo, 2013).

El metano es el más simple de los hidrocarburos, su molécula está formada por un átomo de carbono al que se le encuentran unidos cuatro átomos de hidrogeno, a temperatura ambiente es un gas y se halla presente en la atmosfera. El metano tiene aplicación en la industria química Como materia prima para la elaboración de múltiples productos sintéticos, en los últimos años ha sido aplicado con buenos resultados, como fuente energética alternativa en pequeña escala generándolos a partir de residuos orgánicos agrícolas . Este biogás está compuesto aproximadamente por 55 a 70% de metano y de 30 a 45 % de dióxido de carbono y 1 a 3% de otros gases, su poder calorífico oscila entre los 5.500kcal/m³ Domenech (1994), citado por (Palafox,2009).

1.1 Justificación.

Tomando en cuenta que actualmente la producción de gas metano en diferentes países en vías de desarrollo es producido por biodegradación con fines sustentables y rentables a partir de desechos orgánicos. En el departamento de Tarija y en Bolivia no se cuenta con datos de producción ni se toma en cuenta a los residuos que son desechados por los animales criados en las familias del departamento por razones sociales y culturales no existe tal importancia, por tanto en este trabajo consideramos hacer un aporte de investigación comparativo de los volúmenes de producción de gas metano que generan cuatro materias primas orgánicas (Estiércol bovino, estiércol de cerdo, gallinaza y rastrojo de maíz), ya que son materiales que se encuentran como residuos generados por actividades económicas de producción agroindustrial. El resultado del estudio hace que lleguen a beneficiar al departamento de Tarija como también para futuras investigaciones que servirán de instrumento de consulta para Instituciones, profesionales, universitarios y demás personas que requieran de la información.

1.2. Objetivos.

1.2.1 Objetivo General.

* Evaluar las cuatro diferentes materias primas (Estiércol de vaca, estiércol de cerdo, gallinaza y rastrojo de maíz) por fermentación anaeróbica en la generación de gas metano.

1.2.2 Objetivo Específico.

*Analizar la composición nutritiva de cada materia prima, antes y después de realizar el proceso de fermentación.

* Calcular el volumen de producción de gas metano con fines ecológicos, utilizando los estiércoles que son desechados por las familias del municipio de Bermejo.

* Determinar la potencialidad de cada una de las materias primas en la producción de gas metano en función de la presión.

* Obtener Biol (fertilizante líquido), como residuo del proceso de la fermentación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Característica del gas metano.

El metano es un compuesto químico que tiene un átomo de carbono y cuatro de hidrógeno. Existe naturalmente en la Tierra, usualmente en pantanos y marismas donde el proceso de descomposición orgánico lo produce en grandes cantidades. Muchos científicos apuntan al metano como el causante del agujero de la capa de ozono en la atmósfera terrestre, por lo que se ha realizado un gran esfuerzo en limitar la producción de tal químico (Gonzales, 2013).

2.1.1 Estado gaseoso.

En la Tierra, la mayoría del metano está en forma gaseosa, usualmente está combinado con oxígeno y otros compuestos gaseosos en los combustibles de gas natural con temperaturas y presiones ordinarias y se caracteriza por su baja solubilidad en su fase líquida ECHA (European chemical agency, 2007).

2.1.2 Apariencia invisible.

El metano es invisible y no tiene ningún olor en particular. Por lo tanto, quienes fabrican productos con gas natural de metano usualmente lo mezclan con sustancias que tengan un olor distintivo para que la gente pueda detectar si hay una fuga.

2.1.3 Volatilidad.

El metano es un gas volátil y extremadamente inflamable, incluso explosivo si se combina con aire y se enciende. Durante la combustión, el metano puede llevar a la formación de muchos otros compuestos, principalmente dióxido de carbono y agua.

El metano también reacciona fuertemente con los halógenos, incluyendo el flúor, cloro, bromo y el yodo. Finalmente, el metano normalmente desplaza al oxígeno en los espacios cerrados, haciendo difícil la oxigenación de los seres vivos (Smith, 2017).

2.1.4 Propiedades físicas.

- Punto de ebullición: -161°C .
- Punto de fusión: -183°C .
- Solubilidad en agua, ml/100 ml a 20°C : 3.3.
- Densidad relativa de vapor (aire = 1): 0.6.
- Punto de inflamación: Gas inflamable.
- Temperatura de auto ignición: 537°C .
- Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 5-15.
- Valor calorífico, 6 kWh por metro cúbico.

2.1.5 Propiedades químicas.

El metano es un ejemplo de compuesto molecular, cuyas unidades básicas son grupos de átomos unidos entre sí. La molécula de metano consta de un átomo de carbono con cuatro átomos de hidrógeno unidos a él. La forma general de la molécula es un tetraedro, una figura con cuatro caras triangulares idénticas, con un átomo de hidrógeno en cada vértice y el átomo de carbono en el centro (Soto, 2001).

2.1.6 La reacción de la combustión del metano.

Se presenta como un reto para los químicos inorgánicos, pues el metano, junto con otros miles de compuestos derivados del carbono y el hidrógeno, es cinéticamente estable a la oxidación, sin embargo, dicha reacción no es espontánea. Se necesita aplicar una llama o chispa a la reacción, para que esta consiga llevarse a cabo. Cosa

que contrasta bastante con otro compuesto, el silano (SiH_4), de la misma familia de los carbonoides el cual se inflama cuando entra en contacto con el oxígeno. Esta gran diferencia, se podría decir que ocurre lo mismo que en el caso de la reactividad de los halogenuros de carbono y el silicio con el agua, es decir, existe una carencia de orbitales tipo (d) que no están disponibles en los átomos de carbono. Pero, sin embargo, el mecanismo de la oxidación es bastante distinta al mecanismo de la hidrólisis, siendo peligroso aceptar tan sólo una explicación (Mendez 2010).

2.1.7 Explosividad del metano.

El metano es explosivo cuando está mezclado con aire (1 – 8% CH_4) y es un agente muy fuerte en el efecto invernadero. Otros alcanos menores también forman mezclas explosivas con el aire. Los alcanos líquidos ligeros son altamente inflamables, aunque este riesgo decrece con el aumento de la longitud de la cadena de carbono. El pentano, hexano, heptano y octano están clasificados como peligrosos para el medio ambiente y nocivos (Stratton, 2015).

2.1.8 Composición del biogás.

COMPONENTES	
Metano	CH_4
Dióxido de carbono	CO_2
Sulfuro de hidrogeno	H_2S
Monóxido de carbono	CO
Amoniaco	NH_3

(López 2009).

El biogás lo constituyen una mezcla de gases y su composición depende del tipo de residuo orgánico utilizado para su producción y de las condiciones en que se procesa por lo que existen variaciones en los volúmenes y no es preciso saber el correcto.

2.2 Fuentes de metano.

Los orígenes principales de metano son:

- Descomposición de los residuos orgánicos por bacterias.
- Fuentes naturales (pantanos).
- Extracción de combustibles fósiles:(el metano tradicionalmente se quemaba y emitía directamente. Hoy día se intenta almacenar en lo posible para reaprovecharlo formando el llamado gas natural).
- Los procesos en la digestión y defecación de animales.
- Las bacterias en plantaciones de arroz.
- Digestión anaeróbica de la biomasa.
- Materia viva vegetal: (Se ha descubierto que plantas y árboles que emiten grandes cantidades de gas metano).

El 60% de las emisiones en todo el mundo es de origen antropogénico, proceden principalmente de actividades agrícolas y otras actividades humanas. La concentración de este gas en la atmósfera se ha incrementado de 0,8 a 1,7 ppm, pero se teme su aumento a medida que se libere, al aumentar las temperaturas de los océanos, el que se encuentra almacenado en el fondo del Ártico (Rossy, 2015).

2.2.1 Naturaleza del metano.

En la naturaleza el metano es el compuesto orgánico con la energía de enlace baja en electrones en comparación del dióxido de carbono que tiene mayor número de

electrones, en un sistema cerrado y anaeróbico los sustratos se convertirán eventualmente en metano y dióxido de carbono sin embargo durante la fermentación de la materia orgánica una gran cantidad de compuestos como solventes, ácidos grasos, hidrogeno entre otros son producidos además del metano y dióxido de carbono (Escamilla, 2011).

2.2.2 Generalidad de los gases.

El termino gas se refiere al estado físico de una sustancia a una determinada temperatura y presión que cuando no está confinada se expande para que ocupe el volumen de un recipiente, una sustancia (CH_4) puede coexistir en diferentes estados físicos, un ejemplo seria el propano líquido que a temperatura ambiente seria gas propano.

Los gases representan a uno de los tres estados comunes de la materia: solido, líquido y gaseoso, hay muchas sustancias que pueden existir en los tres estados el agua por ejemplo, puede existir como líquido, sólido y gas. Otros ejemplos son los gases oxígeno y nitrógeno que se convierten en líquido a temperaturas muy bajas, al bajar aún más esta temperatura alcanzan el estado sólido (Infrasal, 2017).

2.2.3 Difusión de los gases.

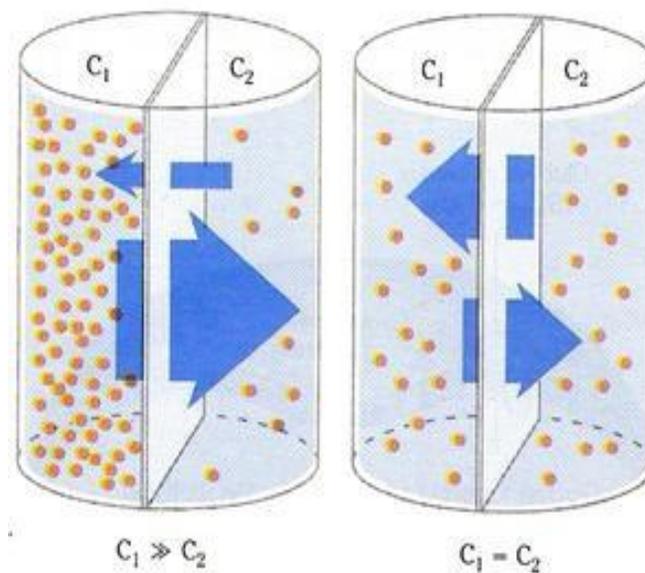
El volumen de los gases cambia en respuesta a cualquier cambio que se presenta en la presión atmosférica o en la temperatura por ejemplo:

- Un incremento en la presión causa una contracción del gas.
- Una disminución de la presión causa que el gas se expanda.
- Un incremento de Temperatura causa que el gas se expanda.
- Una disminución de Temperatura causa una contracción del gas.

Propiedades generales de los gases (anónimo, 2017).

La difusión es el fenómeno por el cual las moléculas en estado líquido o gaseoso tienden a distribuirse uniformemente en todas las partes del espacio disponible, hay factores que la afectan por lo que se llevo a cabo el fenómeno de la difusión cambiando el factor de temperatura, ya que entre mayor temperatura mas rápido se lleva el proceso y con menos temperatura el proceso será más lento (Zamora, 2011).

Difusión de los gases:

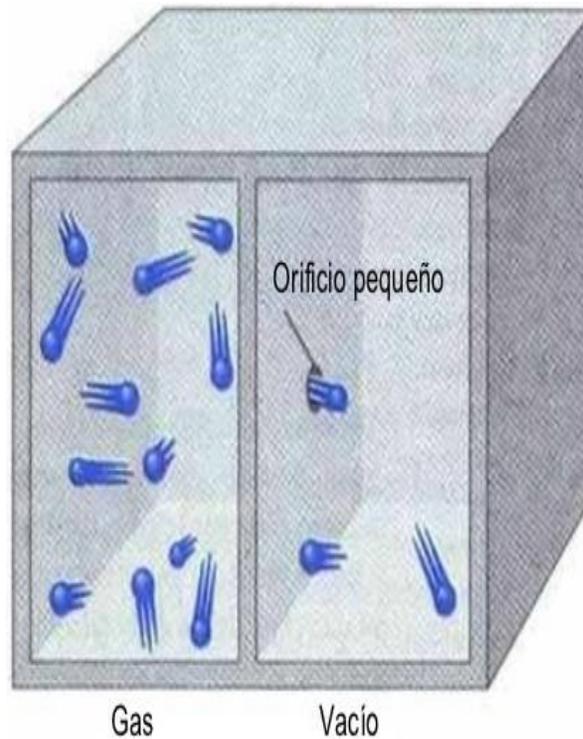


(Zamora, 2017)

2.2.3.1 Efusión de los gases.

La efusión es el proceso por el cual un gas bajo presión escapa de un recipiente al exterior a través de una pequeña abertura, se ha demostrado que la velocidad de efusión es directamente proporcional a la velocidad media de las moléculas, se pueden medir los tiempos necesarios para que cantidades iguales de gases efundan en las mismas condiciones de presión y temperatura, demostrándose que dichos tiempos son inversamente proporcionales a sus velocidades, así cuanto más pesada es la molécula más tardara en efundir (Anónimo, 2007).

Efusión del gas:



(Delgado, 2008).

2.2.4 Efecto invernadero de los gases.

La temperatura del planeta va ascendiendo gradualmente debido al llamado efecto invernadero, causado por la presencia creciente en el aire de una serie de gases que atrapan al calor impidiendo su salida al espacio exterior, estos gases transmiten el calor atrapado al resto de la atmosfera provocando un incremento general de la temperatura cuanto mayor cantidad de gases de efecto invernadero haya en la atmosfera, mayor es la energía que pueden atrapar y por lo consiguiente más se calienta el planeta (Castillejo, 2015).

Contaminación de los gases:

GAS	FUENTE EMISORA	TIEMPO DE VIDA	CONTRIBUCION AL CALENTAMIENTO (%)
Dióxido de carbono (CO ₂)	Combustibles fósiles, deforestación, destrucción de suelos	500 años	<u>C.FÓSILES</u> : carbón, el <u>petróleo</u> , o el <u>gas natural</u> , no renovables 54
Metano (CH ₄)	Ganado, biomasa, arrozales, escapes de gasolina, minería	7 - 10 años	12
Oxido Nitroso (N ₂ O)	Combustibles fósiles, cultivos, deforestación	140 - 190 años	6
Clorofluorocarbonos (CFC 11,12)	Refrigeración, aire acondicionado, aerosoles, espumas plásticas	65 - 110 años	21
Ozono y otros	Fotoquímicos, automóviles, etc.	horas - días	8

(Canales, 2017).

2.3 Relación Carbono Hidrógeno.

Los carbohidratos y las proteínas son los nutrientes indispensables para el crecimiento, desarrollo y actividad de las bacterias anaerobias. El carbono contenido en el estiércol, es el elemento que las bacterias convierten en metano (CH₄). El nitrógeno es utilizado para la multiplicación bacteriana y como catalizador en el proceso de producción de biogás (Londres, s/a).

2.4 Etapas de la fermentación metanogénica.

La digestión anaeróbica es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas de hecho, muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea los estudios bioquímicos y microbiológicos realizados hasta ahora, dividen el proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica en cuatro fases o etapas:

1. Hidrólisis.
2. Etapa fermentativa o acidogénica.
3. Etapa acetogénica.
4. Etapa metanogénica.

1. Hidrolisis.- Consiste en una transformación controlada por enzimas extracelulares en la que las moléculas orgánicas complejas y no disueltas se rompen en compuestos susceptibles de emplearse como fuente de materia y energía para la célula de los microorganismos CTC (Centro tecnológico nacional de la conserva y alimentación, 2013).

2. Etapa fermentativa o acidogénica.-Durante esta etapa tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que pueden ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas y compuestos orgánicos que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas (Ortega, 2006).

3. Etapa acetogénica.- Durante esta etapa actúan las bacterias productoras de hidrógenos las cuales producen ácido acético junto con dióxido de carbono y hidrogeno a partir de ácidos propionico, butírico o de cadena mas larga, a esta altura del proceso la mayoría de las bacterias anaerobias han extraído todo el alimento de la biomasa como resultado de su metabolismo, han de eliminar sus propios productos de

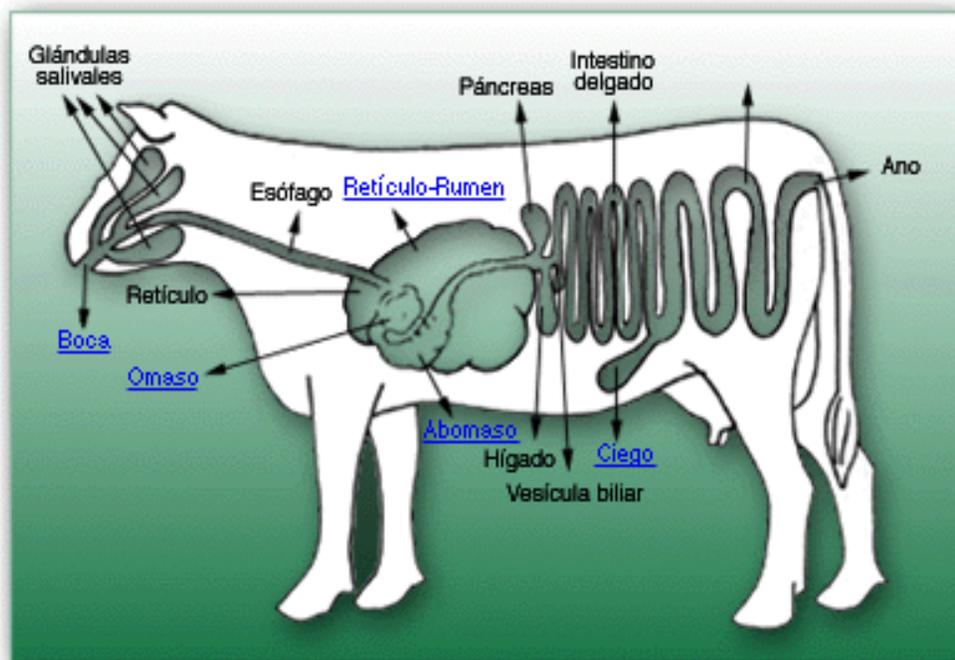
desechos de sus células, estos productos ácidos volátiles sencillos, son los que van a utilizar como sustrato las bacterias metanogénicas (Rodríguez, 2010).

4. Etapa metanogénica.- Consiste en la transformación bacteriana de ácidos acéticos y del ácido fórmico en dióxido de carbono y metano, los micro organismos metanogénicos producen metano a partir de ácido acético, completan el proceso de digestión anaerobia mediante la formación de metano a partir de sustratos mono y di carbonados unidos por un enlace covalente (FAO, 2011).

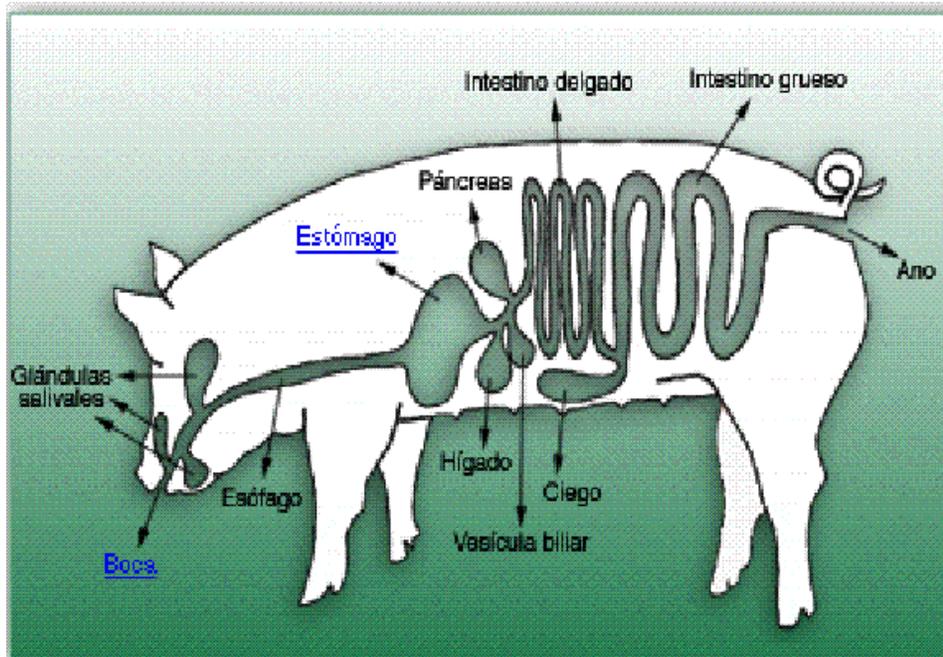
2.5 Proceso de digestión para generar metano.

2.5.1 Digestión de los animales.

Aparato digestivo poligástrico:



Aparato digestivo monogástrico:



Los animales durante la digestión producen metano de forma natural, principalmente debido a los microorganismos presentes en el aparato digestivo que fermentan el alimento consumido, produciéndose metano que se elimina principalmente por exhalación o eructo. La cantidad de metano producida depende de diversos factores: el tipo de animal, nivel de alimentación y el tipo de dieta. Determinación de producción de metano en caprinos alimentados con dietas con distintos cereales, (López, 2011).

2.5.2 Digestión anaerobia (DA).

La digestión anaerobia es un proceso que se lleva a cabo por sí mismo en los sitios de disposición de los residuos, sin embargo es un proceso lento por lo cual es necesario trabajarlo como un biodigestor y acelerar la degradación mediante la manipulación de los principales parámetros involucrados en la degradación.

2.5.3 Afluente de la digestión.

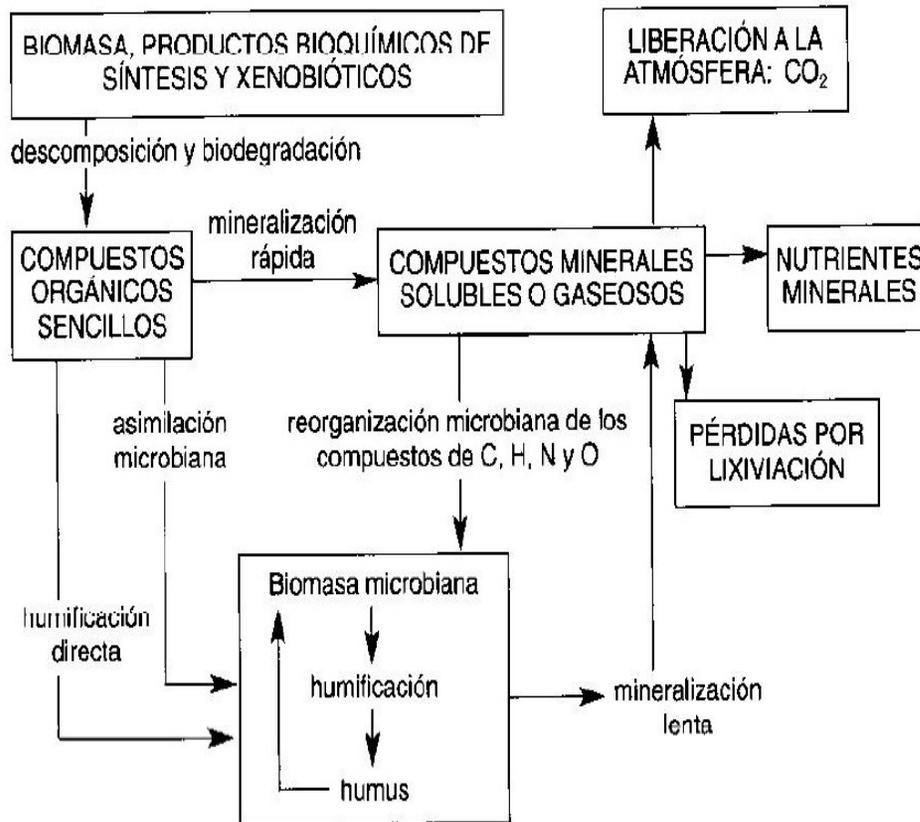
El efluente de la digestión está compuesto por diversos productos orgánicos e inorgánicos y se puede utilizar en la fertilización de suelos, con excelentes resultados, su composición varía de acuerdo al desecho utilizado. La aplicación del efluente al suelo le trae beneficios similares a los que se alcanzan con cualquier materia orgánica. Es decir, que actúa como mejorador de las características físicas, facilitando la aireación, aumentando la capacidad de retención de humedad, la capacidad de infiltración del agua y la capacidad de intercambio catiónico (Lagos, 2013).

2.5.3.1 Materia orgánica.

La materia orgánica, considerada como una mezcla compleja y variada de sustancias orgánicas, desempeña un importante papel en los suelos agrícolas. A pesar de que la misma constituye solo una pequeña fracción de la mayoría de los suelos, es un componente dinámico que ejerce una influencia dominante en muchas propiedades y procesos del suelo. Frecuentemente un efecto lleva a otro, de modo que de la adición de materia orgánica a los suelos, resulta una cadena compleja de múltiples beneficios.

La materia orgánica representa aproximadamente el 5% en el volumen de un suelo ideal a pesar de ser un porcentaje relativamente pequeño su presencia es altamente importante en el crecimiento de las plantas, la adición de los residuos orgánicos al suelo provenientes de plantas y animales y su posterior descomposición por los micro organismos establecen los procesos que determinan el nivel al cual se acumula materia orgánica en los suelos (Molina, 2017).

Diagrama 1. Ciclo la materia orgánica.



2.5.3.2 Transformación de la materia orgánica en medio anaeróbico.

Cuando los poros del suelo llenos de agua impiden la difusión del O₂ desde la atmósfera hacia el suelo, la provisión de oxígeno puede agotarse. Los organismos aeróbicos no pueden funcionar sin oxígeno suficiente, por lo que los organismos anaeróbicos o facultativos se vuelven dominantes. En condiciones de poco oxígeno, o anaeróbicas, la descomposición se produce mucho más lentamente que cuando el oxígeno es abundante. Por esto los suelos mojados, anaeróbicos, tienden a acumular grandes cantidades de materia orgánica parcialmente descompuesta. Los productos de la descomposición anaeróbica incluyen una amplia variedad de compuestos orgánicos

parcialmente oxidados, como ácidos orgánicos, alcoholes y gas metano (Corbella, s/a).

2.5.4 Biol.

Existen diversos abonos foliares líquidos y sólidos de origen químico, cuyos precios son muy elevados y no están al alcance de algunos productores, últimamente se está volviendo a rescatar tecnologías ancestrales que no dañan al medio ambiente, que permiten obtener productos alimenticios de mejor calidad usando recursos locales que son de bajo costo, una de estas tecnologías es el bio-fertilizante líquido, conocido también como biol que contiene nitrógeno amoniacal, vitaminas y aminoácidos, estas sustancias permiten regular el crecimiento y desarrollo de la planta y además pueden ser un buen complemento de fertilización aplicada al suelo.

La producción de Biol es un proceso relativamente simple y económico, ya que la fabricación de un biodigestor es fácil y los insumos son residuos orgánicos que son considerados desechos, sin embargo su elaboración tiene un periodo largo, los bioles son abonos de tipo foliar orgánico son el resultado de un proceso de digestión anaeróbica de restos orgánicos de animales y vegetales, son ricos en fitohormonas, un componente que mejora la germinación de las semillas, fortalece las raíces y la floración de las plantas, su acción se traduce en aumentos significativos de las cosechas a bajos costos (Arana, 2011).

2.5.4.1 Ventajas del Biol.

Se pueden elaborar en base a los insumos que se encuentran en la comunidad, no requiere de una receta determinada por que los insumos pueden variar, su preparación es fácil y puede adecuarse a diferentes tipos de envase, tiene bajo costo, mejora el vigor del cultivo, permitiendo así soportar con mayor eficacia los ataques de plagas y

enfermedades y como también los efectos adversos del clima. INIA (Instituto nacional de investigación agraria, 2008).

2.5.5 Fertilizantes orgánicos.

Los productos químicos causan una degradación de los suelos debido a su uso indiscriminado eleva los costos de producción contamina el medio ambiente y es dañino para la salud siendo así como alternativa el uso de fertilizantes orgánicos que protejan y desarrollen la vida en los microorganismos y mejoren la estructura de los suelos (Aliaga, 2016).

2.6 Gases tóxicos y asfixiantes.

Existen diversos gases tóxicos y asfixiantes que resultan de la degradación microbiana de los excrementos de animales, la digestión anaerobia produce sobre todo los siguientes gases tóxicos:

2.6.1 Dióxido de carbono.

La concentración de CO₂ en la atmósfera está aumentando de forma constante debido al uso de carburantes fósiles como fuente de energía y es teóricamente posible demostrar que este hecho es el causante de producir un incremento de la temperatura de la Tierra - efecto invernadero, la reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera permitiría que el ciclo total del carbono alcanzara el equilibrio a través de los grandes sumideros de carbono como son el océano profundo y los sedimentos.

2.6.2 Dióxido de azufre.

La principal fuente de emisión de dióxido de azufre a la atmósfera es la combustión del carbón que contiene azufre el SO₂ resultante de la combustión del azufre se oxida

a SO_3 y forma ácido sulfúrico (H_2SO_4), componente de la lluvia ácida que es nocivo para las plantas, provocando manchas allí donde las gotitas del ácido han contactado con las hojas $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4$. La lluvia ácida se forma cuando la humedad en el aire se combina con el óxido de nitrógeno o el dióxido de azufre emitido por fábricas, centrales eléctricas y automotores que queman carbón o aceite. (Rojas, 2001).

2.6.3 Monóxido de carbono.

El monóxido de carbono (CO) se produce por la oxidación incompleta del carbono en el proceso de combustión. En general esto ocurre en los automotores, dado que en las industrias y en las centrales térmicas se controla que la oxidación sea total, generando CO_2 pues es la forma de obtener el mayor rendimiento térmico de los hidrocarburos, El monóxido de carbono actúa por asociación con la hemoglobina de la sangre, formando carboxihemoglobina, reduciendo ostensiblemente la oxigenación debido a que el CO es 210 veces más reactivo que el oxígeno con la hemoglobina. Por lo tanto se observa una disminución en el transporte de oxígeno por la sangre hacia las células del cuerpo humano, cuando la concentración de CO supera las 120 ppm, se puede producir pérdida de reflejos, dolores de cabeza, náuseas, vómitos, y si persiste puede llevar a la muerte (Moragues, 2016).

2.6.4 Amoníaco.

El amoníaco anhidro es un gas incoloro, de olor irritante y tóxico con las siguientes propiedades físicas:

- Temperatura de solidificación (MP) $-77,7\text{ }^\circ\text{C}$.
- Temperatura normal de ebullición (BP) $-33,4\text{ }^\circ\text{C}$.
- Presión de vapor a $0\text{ }^\circ\text{C}$ 4,2.
- Calor latente de vaporización en el BP 327 kcal/kg.
- Calor latente vaporización a 0°C 302 kcal/kg.

- Densidad en el BP 0,682 Tm/m³.
- Temperatura crítica 132 °C.
- Presión crítica 113 ata Temperatura de inflamación 651 °C.

Por su elevado calor latente de vaporización se utiliza como fluido frigorífico, si bien es peligroso en caso de que se produzcan fugas, por lo que no siempre es recomendable. Es muy soluble en agua, se hidrata formando NH₄OH que se ioniza, generando soluciones de fuerte carácter básico. El ion amonio es fácilmente asimilable por las plantas. Por su importancia como nutriente es el segundo producto químico que más se produce industrialmente a escala mundial después del ácido sulfúrico TQI (Tecnología Química Industrial, s/a).

2.6.5 Sulfuro de hidrogeno.

El sulfuro de hidrógeno es un gas con un olor desagradable característico y es detectable en concentraciones muy bajas (por debajo de 0,8 µg/m³) en el aire. Se forma por hidrólisis de los sulfuros en el agua. Sin embargo, la concentración de sulfuro de hidrógeno en el agua de consumo será generalmente baja porque los sulfuros se oxidan rápidamente en aguas bien oxigenadas. La toxicidad aguda para las personas del sulfuro de hidrógeno inhalado es alta; se puede observar irritación ocular por inhalación de concentraciones del gas de 15-30 mg/m³. Aunque no hay datos sobre su toxicidad por vía oral, es improbable que una persona pueda ingerir una dosis nociva de sulfuro de hidrógeno en el agua de consumo (OMS, 2003).

2.6 Propiedad de los estiércoles y rastrojo de maíz.

2.6.1 Estiércol de bovino.

Los desechos orgánicos se producen en grandes cantidades en todas partes del planeta y crean serios problemas de contaminación. Se estima que en Latinoamérica se

desecha 3kg de residuos/familia/ día aproximadamente, y que entre 50 y 70% son de origen orgánico. Uno de los principales problemas de las explotaciones ganaderas es el manejo que se le pueda dar a la gran cantidad de desechos generados en forma de excretas, lo cual tradicionalmente se ha limitado al simple lavado de los corrales utilizando grandes cantidades de agua, que finalmente se depositan en fuentes causando contaminación. Estos desechos son altamente contaminantes debido a que contienen materia orgánica, microorganismos y nutrimentos, lo que conlleva entre otros procesos a la disminución del oxígeno disponible y al aumento de contenidos de amonio en el agua con la muerte de la vida acuática y además, amenaza la vida terrestre al consumirse el agua por personas, animales y plantas.

Composición nutritiva (%) del estiércol de vaca.

M.O	36.1 %
N	1.51 %
P	1.20 %
K	1.51 %
Ca	3.21 %
Mg	0.53 %
Humedad	25.5 %
Ph	7.1 %

ACPA (Asociación Cubana de Producción Animal, 2009).

2.6.2 Estiércol de cerdo.

El estiércol de cerdo tiene el potencial de impactar el suelo, el aire y los recursos hídricos, el estiércol requiere una gestión y correcto tratamiento para su eliminación,

varias tecnologías están actualmente disponibles para el manejo de estiércol en las explotaciones porcinas, sin embargo la selección de una tecnología viable debe tener en cuenta no solo los desafíos técnicos y económicos, sino también características particulares estos incluyen el número de cerdos, la tierra disponible para la aplicación de estiércol y las oportunidades de producción de energía y fertilizantes orgánicos para el comercio o consumo, estrategias para la gestión del estiércol de los cerdos (Pig Market, 2016).

En la última década la producción porcina se ha concentrado e intensificado uno de los problemas que esto ha traído consigo, es el incremento en la producción de excretas, y al mismo tiempo, se tiene un aumento en las emisiones de amoníaco al medio ambiente, y por consiguiente, mal olor que estos despiden se disponen de métodos relativamente simples para superar este desafío y a un costo razonable.

Composición nutritiva de excretas porcina en base de % materia seca.

Estiércol	%
Materia seca	26.43
Proteína cruda	15.87
Fibra cruda	17.52
Cenizas	12.05
Extracto libre de nitrógeno	49.87
Calcio	0.61
Fosforo	1.36
Pared celular	44.0

INIFAP (Instituto nacional de investigación forestal, Agrícola y pecuaria, 2014).

2.6.3 Gallinaza.

La gallinaza es un fertilizante orgánico que combina todos los nutrientes esenciales N, P, K y otros macro y micro elementos, con un alto contenido de materia orgánica. Esto hace que sea un producto que ejerce unos efectos muy positivos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, mejorando los rendimientos de los cultivos el resultado del análisis de la gallinaza como fertilizante del resultado de su análisis destacan las siguientes características según el siguiente cuadro (Tecnificación Agraria y Medioambiental, 2016).

Composición de gallinaza.

Materia seca	83.10	%
pH	7.90	
Materia orgánica	58.00	%
Nitrógeno	4.00	%
Fosforo	2.60	%
Potasio	2.30	%
Calcio	9.50	%
Magnesio	0.80	%
Sodio	0.30	%
Hierro	506.10	Mg/kg
Manganeso	297.50	Mg/kg
Cobre	37.40	Mg/kg
Zinc	531.80	Mg/kg
Relación C/N	7.26	
Conductividad	4.57	Ds/M
Densidad	500.00	Kg/ m3

(Tecnificación Agraria y Medioambiental, 2016).

2.6.4 Rastrojo de maíz.

Durante en las dos últimas décadas, se ha intensificado el uso del ensilaje de maíz, sorgo y forrajes de corte como la caña de azúcar, maicena, maicillo, CT 115, Maralfalfa, Taiwan y King grass, entre otros. La mayor parte de los ensilajes se realizan por el método de pastel, que consiste en seleccionar un terreno plano en la parte más elevada del predio, limpiarlo de maleza y depositar el forraje picado en el piso, compactar, tapar con un plástico y cubrirlo con una capa de 10 cm de tierra.

Composición nutricional de rastrojo de maíz.

Composición nutricional	Unidad	Cantidad
Materia seca	%	85
Energía digestible	Mcal/kg	2.15
Energía metabolizable	Mcal/kg	1.75
Proteína	%	5.40
Calcio	%	0.47
Fosforo	%	0.07
Grasa	%	1.10
Ceniza	%	6.10
Fibra	%	29.50

(Gelvez, 2016).

2.7 El metano en la industria.

Países como Holanda y, sobre todo, Suecia, han apostado por el uso del biometano en todo tipo de vehículos aunque, en esta ocasión, destacamos un proyecto llevado a cabo en el Reino Unido. La protagonista, la empresa Coca-Cola que, recientemente, ha puesto en marcha una estación de servicio en el condado londinense de Enfield

que suministrará unas 168 toneladas de biometano a una flota de 14 de sus camiones, marca Iveco, y que evitará la emisión a la atmósfera de 300 toneladas de CO₂ 1590 kilos de NO_x y 33 kilos de partículas al año. En el caso de España hablamos de Agrobiomet, un proyecto pionero demostrativo que se está llevando a cabo en Granja San Ramón, ubicada en Requena (Valencia), donde se está obteniendo biometano a partir de estiércol de vacuno y que, en este caso, se emplea como combustible para hacer funcionar un vehículo, posiblemente el primero movido en España con biogás agro-industrial a partir de residuos ganaderos. Biometano la versión renovable del gas natural (RASO 2017).

2.7.1 Utilización del metano.

Utilización del biogás, un metro cúbico de biogás totalmente combustionado es suficiente para:

- Generar 1.25 kw/h de electricidad.
- Generar 6 horas de luz equivalente a un bombillo de 60 watt.
- Poner a funcionar un refrigerador de 1 m³ de capacidad durante 1hora.
- Hacer funcionar una incubadora de 1 m³ de capacidad durante 30 minutos.
- Hacer funcionar un motor de 1 HP durante 2 horas.

UBA (Universidad Buenos Aires, 2017).

Los usos que se los puede dar al biogás son muchos así ello podemos dar como ejemplo los quemadores infrarrojos comúnmente utilizados en la calefacción de ambientes especialmente usada en criaderas y parideras presentan como ventaja su alta eficiencia lo cual minimiza el consumo de gas para un determinado

requerimiento térmico, también puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto a gasolina como a diésel, el gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 a 110 lo cual hace muy adecuado para su uso en motores, por otro lado de desventaja es su baja velocidad de encendido y su disminución de potencia máxima de 20% a 30% (Emisión, s/a).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización.

El municipio de Bermejo está situado a 22° 35' 24"- 22° 52' 09" de latitud Sur y de 64° 26' 30" – 64° 14' 16" de longitud Oeste, ubicado en la segunda sección de la provincia Arce del departamento de Tarija, colinda al Sur, al Este y al Oeste con la Republica Argentina, y al Norte con el municipio de Padcaya OASI (Oficina de Asistencia Social de la Iglesia, 1998).

3.1.1 Ubicación.

El presente trabajo de investigación se realizara en la urbanización 25 de Enero, situado a 4.5 km de la ciudad en el municipio de Bermejo.

3.2 Características agroecológicas.

3.2.1 Clima.

Bermejo tiene un clima sub tropical, con temperaturas máximas y mínimas entre 47°C y -4°C, siendo la media anual de 22°C. La precipitación pluvial es de 1000 a 1500mm año y la humedad relativa es de 70 a 80%, el municipio de Bermejo está a una altura de 415 a 550 msnm AASANA (Administración de Aeropuertos y Servicios Auxiliares de Navegación Aérea) y ZONISING (Proyecto Zonificación Agroecológica y Establecimiento de una base de datos y Red de Sistemas de Información Geográfica de Bolivia, 2001).

3.2.2 Recursos Naturales.

La región cuenta con riqueza forestal, recursos que son explotados sin planificación

adecuada, destruyendo especies de importancia, no solo para la vida silvestre sino para la subsistencia de los sistemas productivos. La limitada protección de los recursos naturales ha provocado cambios sustanciales en el comportamiento del clima, haciéndose más seco y existiendo periodos largos de sequía G.M.B (Gobierno municipal de Bermejo, 2013).

3.2.3 Suelos.

Los suelos son de origen aluviales en los márgenes de los ríos y quebradas, donde existen relieves planos en menor proporción y pendientes moderadas en pie de monte, destacando en ellos el cultivo de la caña de azúcar; y los suelos de origen coluvial, ocupan posiciones de ladera con relieve de pendientes onduladas y ligeramente quebradas. En general los suelos se caracterizan por ser moderadamente erosionables; pues existen áreas de cultivos en laderas que sobrepasan el 30% de pendiente y con una estructura de afloramiento rocosos la textura es variable, encontrando desde arenosos, franco arcillosos, arcillosos y otros en menor proporción citado por (Galean, 2001).

3.3 Materiales.

De campo:

- 5 Contenedores plásticos de capacidad 200 litros.
- 4 Manómetros de baja.
- 4 llaves de paso de media pulgada.
- 3 Cañerías de media pulgada PVC.
- 1 Termómetro ambiente.
- 1 Reloj grande digital.
- 1 Estructura toldo de 3x6.
- 1 kg silica gel.
- 1 Filtro trampa de agua.
- 50 kg Estiércol de cerdo.
- 50 kg Estiércol de vaca.

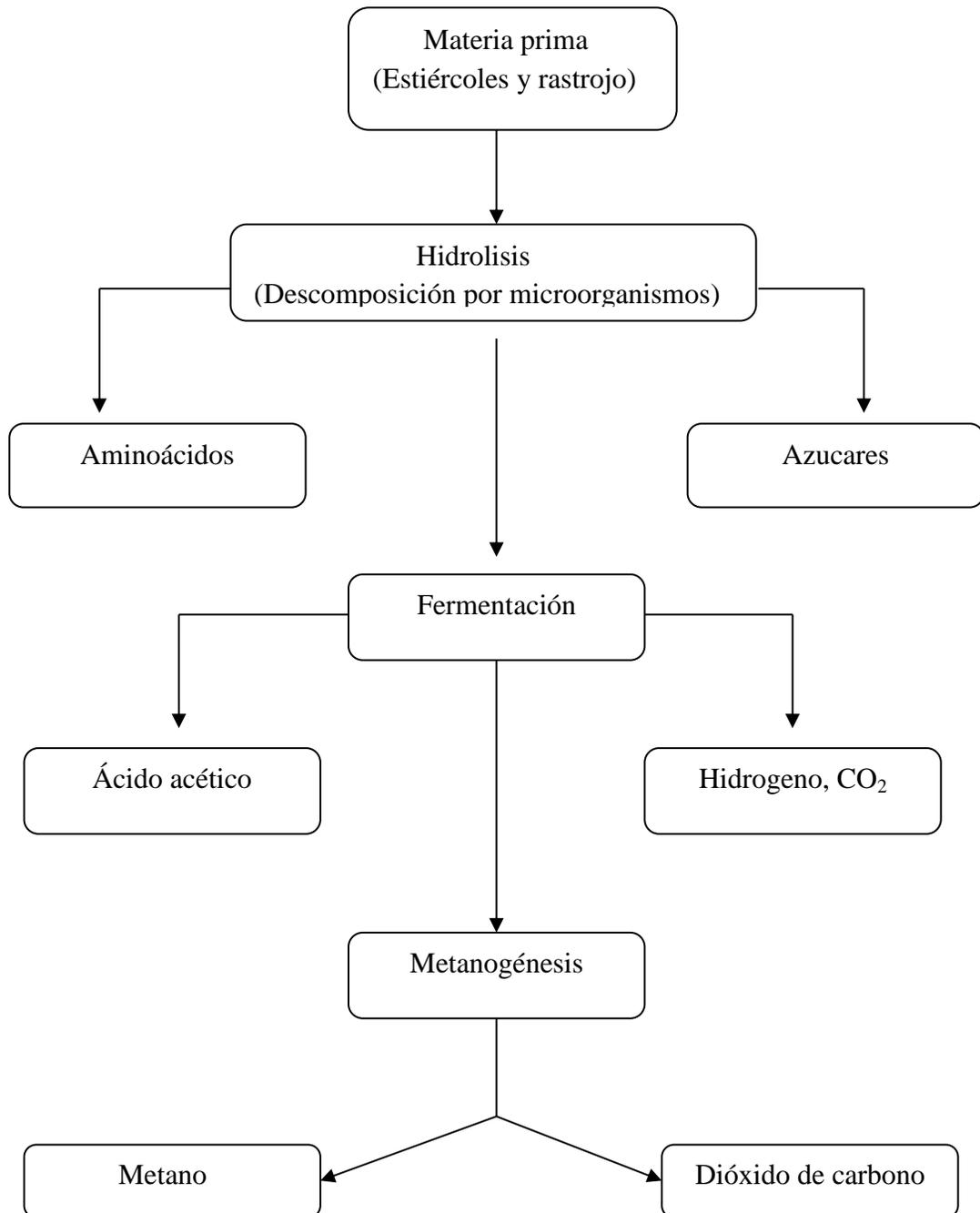
- 50 kg Gallinaza.
- 8 kg Rastrojos de maíz.
- 200 litros de Agua.
- 1 Sacarroca de media pulgada.
- 2 Codos de ½ pulgada.
- 3 T de ½ pulgada.
- 3 Uniones de ½ pulgada.
- 4 sellarroscas medianas.
- 6 unidades de poxilina.
- 10 unidades de cinta teflón.
- 12 Niples de media pulgada.
- 4 Niples MH de ¾ A ½ pulgada.
- Máquina de torno.
- Cámara fotográfica.
- Libreta de apuntes.
- 1 Mascaras faciales antigás.
- 1 Overol.
- 1 Par de guantes.
- 1 Balanza electrónica.
- 1 Balde de 20 litros.
- 1 Machete.
- 1 Esponja.
- 1 Detergente.

De oficina:

- Computadora.
- Impresora.
- Calculadora.

3.4 Metodología.

Diagrama 2. Descomposición, fermentación y metanogénesis.



La metodología a seguir consistió en lo siguiente:

- Primeramente se armó la instalación creando un microambiente cerrado con medidas de 6x3 metros.

-Para la recolección de las materias primas: El estiércol fue recolectado de las familias que tienen sus animales en el campo, la gallinaza se recolectó de una granja de pollos parrilleros y los rastrojos de maíz fue recolectado de un productor que ya cosechó maíz choclo dejando solo las plantas esto fue recolectado después de dos meses de haber cosechado el maíz cholo.

-Procedimiento de la fermentación: Todo el estiércol se lo desmenuzó y los rastrojos de maíz se los picaron manualmente colocando así cada una de las materias primas en cada contenedor juntamente con 50 litros de agua y luego se hizo el sellado hermético, para ello se utilizó 50 kg de cada estiércol y 8 kg de rastrojo de maíz, previamente antes pesadas y registradas en la balanza electrónica. Luego se procedió a la fermentación anaeróbica en un tiempo de 30 días, para cada una de las cuatro materias primas para la generación de gas metano (CH_4), Siguiendo con la metodología se procedió con la determinación de la producción de gas como sigue:

-Registro de datos: Se hicieron análisis químicos de las materias.

Para la toma de temperatura se registraron dos veces al día durante el mes de estudio. Para la obtención de biogás se drenó todo el líquido sobrante del todo el proceso de cada contenedor y finalizando se registraron datos de volumen y presión.

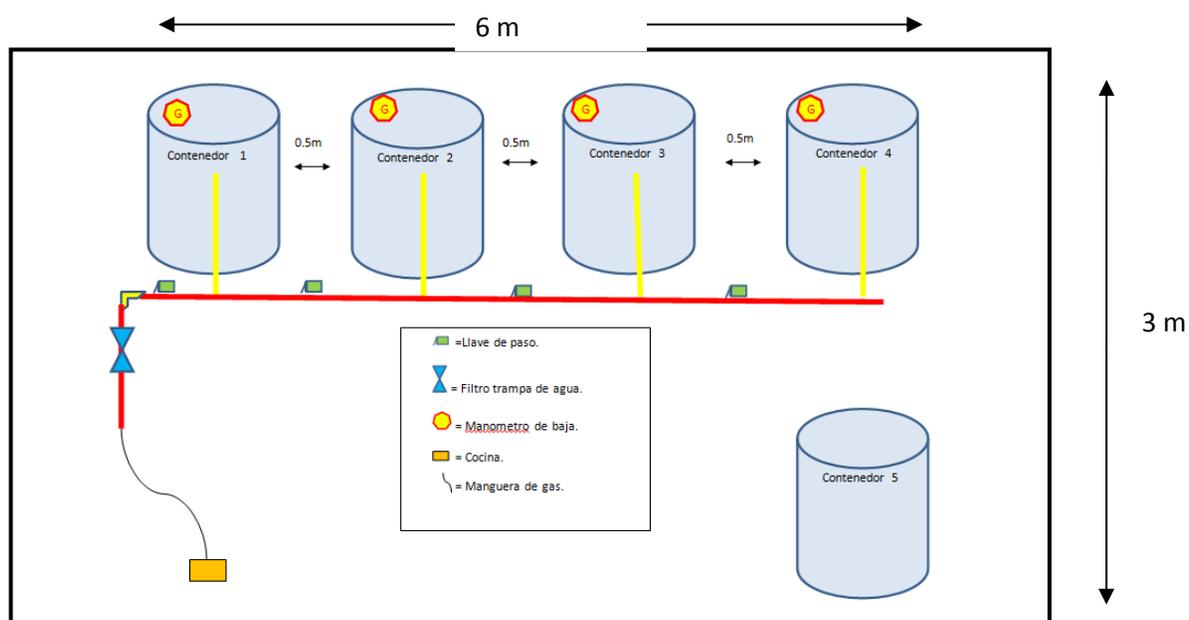
3.4.1 Análisis químico.

Para el análisis químico de los estiércoles y rastrojo, se tomó 1 kg de cada materia prima como muestra para posteriormente llevar las muestras al laboratorio químico de SEDAG TJA para su respectivo análisis esto se realizó antes y después del estudio.

3.4.2 Implementación del ensayo.

Para la implementación del ensayo se procedió a la instalación de un toldo con medidas 6x3m, dentro del cual se pusieron 5 contenedores de plástico, 4 de ellos para cada una de las materias primas con una distancia entre sí de 0.5m y 1 contenedor fue utilizado para depositar el biol.

3.4.3 Diseño para la producción de gas metano.



3.4.4. Distribución de los contenedores.

Contenedor 1 = Estiércol de gallina.

Contenedor 2 = Estiércol de cerdo.

Contenedor 3 = Estiércol de vaca.

Contenedor 4 = Rastrojo de maíz.

Contenedor 5 = Biol.

3.5. Variables a estudiar.

Este trabajo de investigación tiene las siguientes variables:

- Análisis químico de las materias primas (N, P, K, M.O)
- Temperatura ambiente del proceso.
- Presión de la producción.
- Obtención de Biol y M.O.
- Volumen de producción.

3.6. Tabulación y análisis de datos.

Los datos de campo obtenidos mediante el proceso serán ordenados, tabulados y analizados aplicando la estadística descriptiva para el volumen, presión y biol, tomando en cuenta la distribución de frecuencias relativas y acumulados expresados en porcentajes (Hernández, 1999).

El cálculo se realizara con la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje \%} = \frac{Nc}{Nt} \times 100$$

Dónde:

N_c = Es el número de casos de frecuencias absolutas.

N_t = Es el total de casos.

Formula de la ley de Dalton.

$$P_t = p_1 + p_2.$$

P_t = Presión total.

P_1 = presión de CO_2 .

P_2 = presión de CH_4 .

Formula densidad.

$$D = m/v.$$

Formula balance de la materia.

$$BM = M_s + M_{H_2O}.$$

M_s = Materia seca.

M_{H_2O} = Materia líquida.

Formula de gases ideales.

$$PV = n \times R \times T \text{ (}^\circ\text{C} + 273^\circ\text{K)}$$

N = número de moles

R = constante 0.082.

T = Temperatura grados kelvin

V = Volumen.

P = presión.

CAPÍTULO IV

RESULTADO Y DISCUSIÓN.

4.1 Factores climáticos.

4.1.1 Temperatura.

Durante el mes de estudio se registraron una variación de temperaturas altas como se observa en cuadro 1, un total de media de 40.47° C, ante esta situación podemos manifestar que las temperaturas registradas fueron favorables; varios autores indican que para que haya mayor actividad de microorganismos y la fermentación sea más rápida se requieren temperaturas altas.

Cuadro 1. Temperatura ambiente registrada durante el estudio.

Mes	Días				
Enero	7	14	21	31	Total M
	37.6	38.8	46.5	39	40.47

Besel, 2007. indica que la temperatura ambiente en que va trabajar el biodigestor indica el tiempo de retención necesario para que la bacterias puedan digerir la materia. En ambientes de 30°c se requieren unos 10 días y de 20°c unos 25 días esto quiere decir que a altas temperaturas requiere menos días para descomposición y más días para temperaturas bajas.

Según Martin (2006), Indica que el proceso anaeróbico al igual que muchos otros sistemas biológicos, son fuertemente dependientes de la temperatura. La velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimientos de los microorganismos involucrados que a su vez, dependen de la temperatura. A medida

que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión, dando lugar a mayor producción de biogás.

4.2. Análisis químico de las materias primas.

En el cuadro 2, se presenta los resultados de los análisis químicos de la materia prima, realizados antes del ensayo, el mismo nos muestra que la mayoría de las materias tienen pH levemente alcalino con excepción del rastrojo del maíz que es ligeramente ácido con valor de 6.02, el mayor porcentaje de N fue por parte del estiércol de gallina con un 5.52 % y con menor porcentaje el estiércol de vaca con un 5,04 %.

Cuadro 2. Resultados químicos de la materia prima antes del ensayo.

IDENTIFICACIÓN	pH 1:5	CATIONES DE CAMBIO Meq de potasio/100g	MO %	N.T. %	P Olsen ppm
		K			
Estiércol de gallina	7.19	0.87	82.13	5.52	119.43
Estiércol de vaca	7.84	0.79	72.00	5.04	271.04
Estiércol de cerdo	7.94	0.77	77.63	5.28	215.83
Rastrojo de maíz	6.02	1.08	79.39	5.39	247.16

La materia prima con mayor cantidad de P corresponde al estiércol de vaca, con 271 .04 ppm y con menor cantidad al estiércol de gallina con 119,43 ppm, la materia con mayor cantidad de K corresponde al rastrojo de maíz con 1.08 meq/100g y con menor cantidad al estiércol de cerdo con 0.77 meq/100g.

El porcentaje mayor de Materia orgánica fue por parte del estiércol de gallina con un 82.13 % y con menor porcentaje el estiércol de vaca con un 72.00 %.

Como se observa el cuadro 3, los resultados químicos de la materia prima después del ensayo, se obtuvieron cambios en el pH todos pasaron de levemente alcalino a alcalino con excepción del rastrojo de maíz que sigue siendo levemente ácido, se observa alto porcentaje de N por parte del estiércol de gallina con un 5.91 %, y un bajo porcentaje el estiércol 4.22 %.

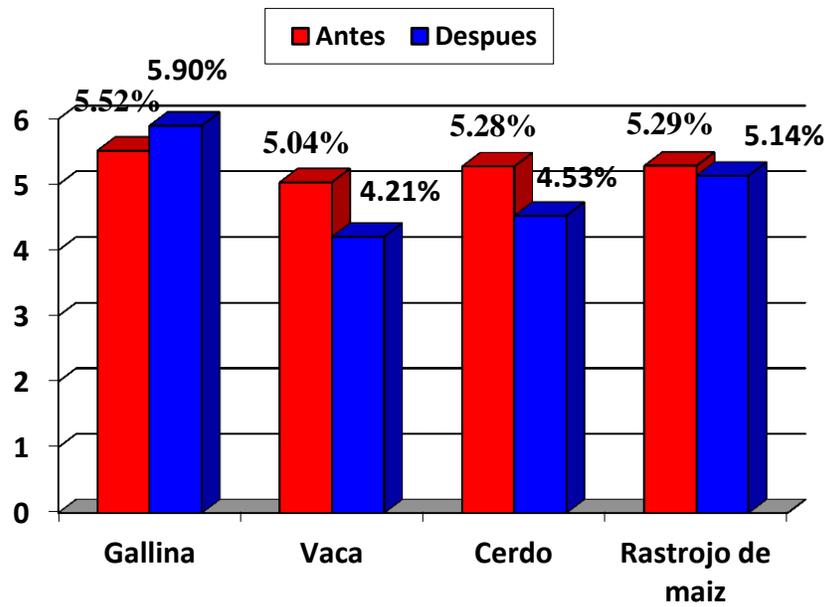
Cuadro 3. Resultados químicos de la materia prima después del ensayo.

IDENTIFICACIÓN	pH 1:5	CATIONES DE CAMBIO Meq de potasio/100g	MO %	N.T. %	P Olsen Ppm
		K			
Estiércol de gallina	7.15	1.78	85.84	5.91	144.00
Estiércol de vaca	8.05	1.10	61.32	4.22	194.20
Estiércol de cerdo	7.74	1.64	64.88	4.53	110.45
Rastrojo de maíz	6.15	1.11	89.01	5.14	281.45

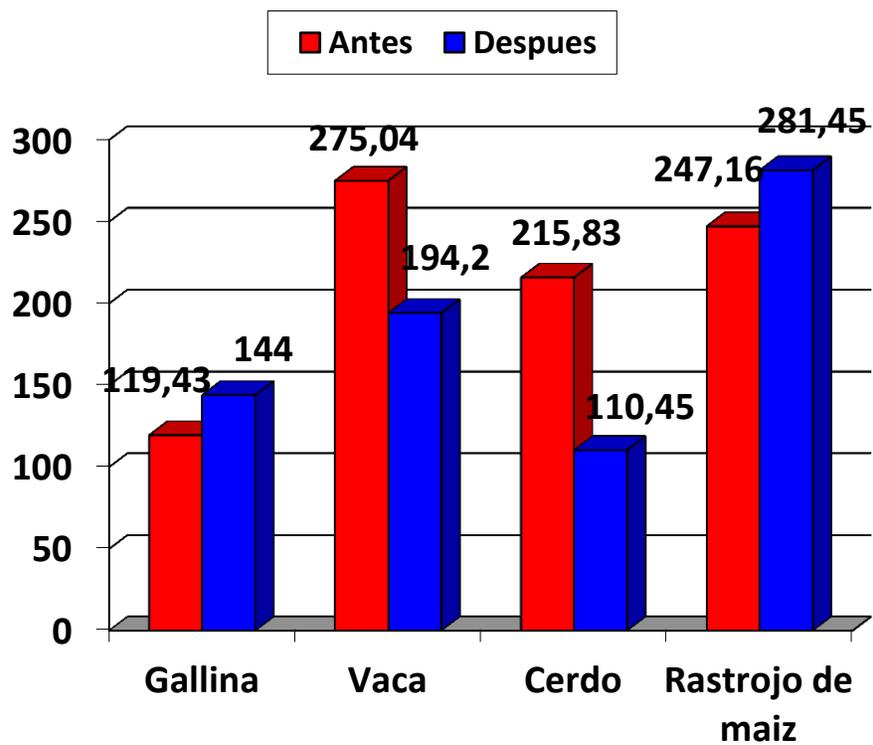
La cantidad mayor de P se presentó en el estiércol de vaca con un 194.00 ppm y una baja cantidad el estiércol de 110.45 ppm, para el K, el estiércol de gallina fue el que mayor resultado dio con valores de 1.78 y con menor valor fue el estiércol de vaca con 1.64, en cuanto a la materia orgánica los valores con porcentajes mayores se presentaron en el rastrojo de maíz con un valor de 89.01% mientras que el menor valor de M.O fue del estiércol de vaca con 61.32 %.

Realizando la comparación de los resultados químicos del laboratorio del antes y después del estudio, podemos observar que hubo una disminución en N en el estiércol de vaca, cerdo, y una disminución de P y M.O en el estiércol de vaca y cerdo, como también hubo aumento de K para las 4 materias primas y de P Y M.O para el estiércol de gallina y rastrojo, como nos indica en el gráfico 1,2,3,4.

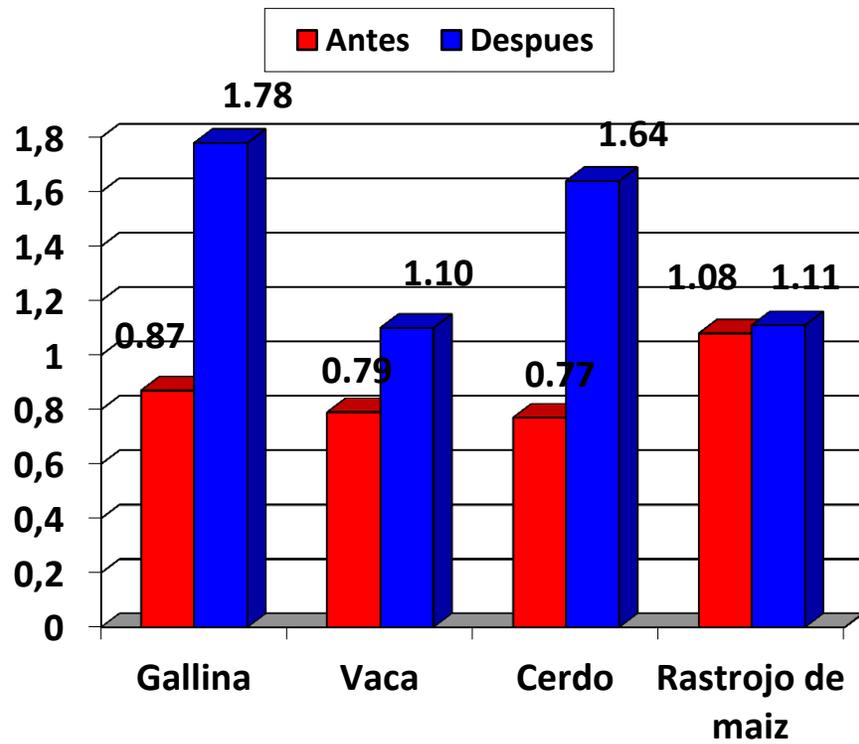
Gráfica 1. Comparación de N (%).



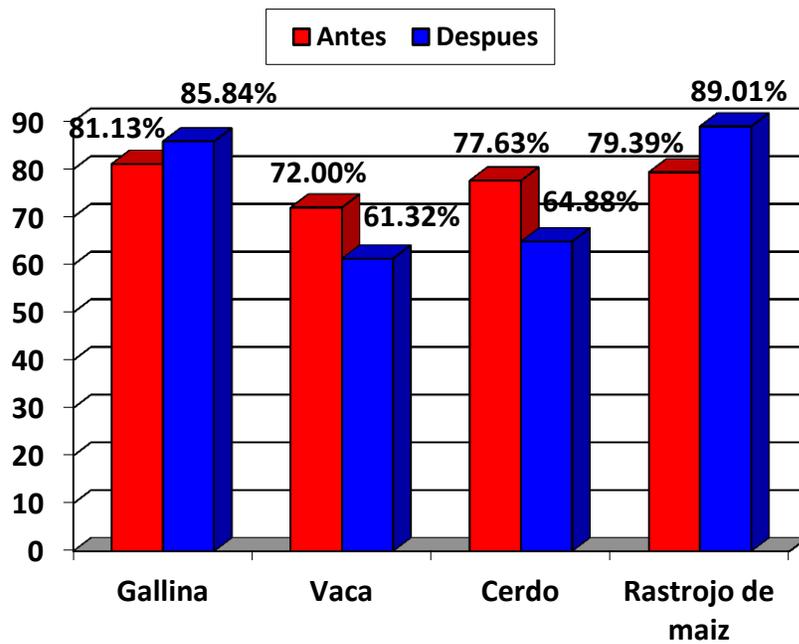
Gráfica 2. Comparación de P (Olsen ppm).



Gráfica 3. Comparación de K (Meq/100g).



Gráfica 4. Comparación de M.O (%).



4.3 Volumen de producción.

Cuadro 4. Volumen de producción.

IDENTIFICACIÓN	VOLUMEN (moles)	%
Estiércol de gallina	1.24	29.80
Estiércol de vaca	1.96	47.11
Estiércol de cerdo	0.23	5.52
Rastrojo de maíz	0.73	17.54
Volumen total	4.16	100

Finalizando el ensayo de campo se realizó la sumatoria del volumen como nos indica el cuadro. La materia prima con mayor flujo de volumen corresponde al estiércol de vaca con 1.96 moles seguido por el estiércol de gallina con 1.24 moles, seguido por el rastrojo de maíz con 0.73 moles y con menor volumen al estiércol de cerdo con 0.23 moles, haciendo un flujo total de 4.16 moles.

En las explotaciones ganaderas de vacuno, cerdo o aves, se generan grandes cantidades de estiércol que es un excelente materia orgánica para biodigerir y producir gas ya que contienen una importante cantidad de energía, sin embargo no solo los excrementos de animales se pueden usar para generar gas, también es posible usar sub productos de la industria hortofrutícola y de transformación alimentaria como pieles de frutas y otros desechos como materia prima para la biodigestión (Sitio solar, 2013).

4.4. Presión de la producción.

En el cuadro 5, se puede observar que las presiones fueron variadas de acuerdo al tipo de estiércol usado para la obtención del gas metano, el estiércol con mayor presión fue el de vaca con 11.37 psi y el con menor presión fue el de cerdo con 1.42 psi.

Cuadro 5. Presión de la producción de gas metano.

IDENTIFICACIÓN	PRESIONES (psi)	%
Estiércol de gallina	7.11	29.42
Estiércol de vaca	11.37	47.06
Estiércol de cerdo	1.42	5.87
Rastrojo de maíz	4.26	17.63
Total	24.16	100

Para conocer las presiones que se desarrollan en el interior de un biodigestor es necesario utilizar manómetros que son instrumentos de medición, de un lado están en contacto con el gas y del otro lado están los marcadores que indican la presión que se desea conocer estos pueden estar en psi o en kg/cm^2 (Guardado, 2016).

Como en cualquier otro gas, algunas de las propiedades características del biogás dependen de la presión y de la temperatura también son afectadas por el contenido de humedad, los factores más importantes para caracterizar el biogás son: el cambio de volumen de acuerdo a la presión y temperatura (Club Ensayos, 2012).

4.5. Obtención de Biol.

Otro producto resultante de la degradación anaeróbica, en menor proporción al bio gas es la mezcla del efluente estabilizado en la biomasa producida conocido como biol, la cantidad de este producto depende de los parámetros operacionales. Sin embargo su contenido tiene índices de nitrógeno y fosforo, que se lo puede utilizar como fertilizante natural (Silva, 2008).

Cuadro 6. Obtención de Biol de las materias primas.

IDENTIFICACIÓN	LITROS	%
Estiércol de gallina	0.25	1.23
Estiércol de vaca	0	0
Estiércol de cerdo	5	24.69
Rastrojo de maíz	15	74.07
Total	20.25	100

El cuadro 6, nos indica la cantidad obtenida en litros de biol de cada una de las materia prima, en el rastrojo de maíz (15 L) produjo la mayor cantidad de biol seguido por el estiércol de cerdo (5 L), por último el estiércol de gallina (0.25 L).

El biol contiene nutrientes principales (N, P, K) y secundarios para el crecimiento de los cultivos, actualmente hay tecnologías para tratar los residuos agropecuarios (Estiércoles de animales) como compostaje, lagunas de oxidación y biodigestores anaerobios, esta última tecnología convierte los residuos en productos energéticos como el biogás y fertilizantes orgánicos como el biol, siendo una alternativa viable económica y ambiental en el manejo de estos residuos (Verde, 2014).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.

1. El resultado de análisis de las materias primas antes del estudio, presento mayor porcentaje de nitrógeno el estiércol de gallina con 5.52%, y el menor porcentaje lo tuvo el estiércol de vaca con 5.04%. Para los resultados del P, presento mayor cantidad el estiércol de vaca con 271.04 ppm y con menor cantidad el estiércol de gallina con 119.43ppm. para en el caso del K, presento mayor cantidad el rastrojo de maíz con 1.08 meq/100gram, y con menor cantidad el estiércol de cerdo con 0.77 ppm. En cuanto a la M.O con mayor porcentaje fue del estiércol de gallina 81,13 %, y con menor porcentaje el estiércol de vaca con 72,00 %. Y con mayor nivel de pH fue del estiércol de cerdo con 7.94 y con menor nivel fue del rastrojo de maíz con 6.02.

Los resultados químico de la materia prima después del ensayo, se obtuvo alto porcentaje de N por parte del estiércol de gallina con un 5.91 %, y un bajo porcentaje el estiércol de vaca con 4.22 %. La cantidad mayor de P se presentó en el estiércol de vaca con un 194.00 ppm y una baja cantidad el estiércol de cerdo con 110.45 ppm, en el caso de K, el estiércol de gallina presento mayor valores con 1.78 meq/100gr y con menor valor el estiércol de vaca con 1.64meq/100gr, en cuanto a la materia organica el porcentajes mayores se presentaron en el rastrojo de maíz con un valor de 89.01% mientras que el menor porcentaje fue del estiércol de vaca con 61.32 %, en el caso del Ph la materia que presento mayores niveles fue para el estiércol de vaca de 8.05.

2. La materia prima con mayor volumen corresponde al estiércol de vaca con 1.96 moles seguido por el estiércol de gallina con 1.24 moles, seguido por el rastrojo de maíz con 0.73 moles y con menor volumen al estiércol de cerdo con 0.23 moles, haciendo un total de 4.16 moles.

3. La materia con mayor presión fue el estiércol de vaca con 11.37 psi y el con menor presión fue el estiércol de cerdo con 1.42 psi.

4. La materia prima que produjo un alto contenido de biol fue el rastrojo de maíz (15 L), seguido por el estiércol de cerdo (5 L), por último el estiércol de gallina (0.25 L).

5.2 Recomendaciones.

De acuerdo con las conclusiones mencionadas, se recomienda que para la producción de gas se utilice estiércol de vaca, ya que tuvo una mayor cantidad de volumen y presión.

Para obtener mayor cantidad de biol se recomienda el uso del rastrojo de maíz de acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio.

Se recomienda realizar estudios con otras diferentes materias primas urbanas para la producción de metano, como por ejemplo residuos orgánicos de cocina.

Si se desea utilizar abono rico en nitrógeno se recomienda usar al estiércol de gallina, ya que este demostró ser el que más porcentaje tuvo en nitrógeno.

Se recomienda utilizar en todo proceso de fermentación aguas que no contengan cloro u otro desinfectante, ya que estos llegarían a eliminar o disminuir su eficiencia de las bacterias y microorganismos.