

## CAPÍTULO I

### 1.1.- El biodigestor

#### 1.1.1.- Origen

Las primeras menciones sobre los biodigestores y de obtención de biogás se remontan al año 1.600, varios científicos escribieron sobre este tema. En 1890 se construye el primer biodigestor a escala real en la India y ya en 1896 en Exeter, Inglaterra, se instaron las lámparas de alumbrado público. Tras las guerras mundiales comienza a difundirse en Europa, las llamadas fábricas productoras de biogás y durante los años de la segunda guerra mundial comienza la difusión de los biodigestores, a nivel rural de Europa como en China e India que se transformaron en líderes en la materia. En año 1920 Imhoff puso en práctica el primer biodigestor en Alemania; los países generadores de tecnología más importantes en la actualidad son: China, India, Holanda, Francia, Gran Bretaña, Suiza, Italia, EE.UU., Filipinas y Alemania. (<http://www.porcinos.blogspot.com/2006/01/historia-del-biogas.html>).

En año 2002 se realiza el primer proyecto de biodigestores en Bolivia en alturas superiores a los 2000 m.s.n.m. Este siempre fue el límite teórico de la tecnología a nivel internacional; en 2003 se realiza la transferencia de la tecnología a una ONG de Cochabamba. Ese mismo año se instala un biodigestor a 4100 m.s.n.m. que funcionó, demostrando que la tecnología no está limitada en altura y que solo hay que considerar nuevas técnicas en su construcción. Desde 2002 a 2006 se instalaron unos 250 biodigestores entre los departamentos de Cochabamba y La Paz (<http://www.bivica.org/aproad/programa-nacional-biodigestores.pdf>).

Con el fin de disminuir la emisión de los gases de efecto invernadero, el Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF) procedió a implementar biodigestores en las comunidades de Huacatay y Saladillo, obteniendo biogás, biol y biosol.

El coordinador regional del INIAF, impulsó la tecnología del biogás, que consiste en

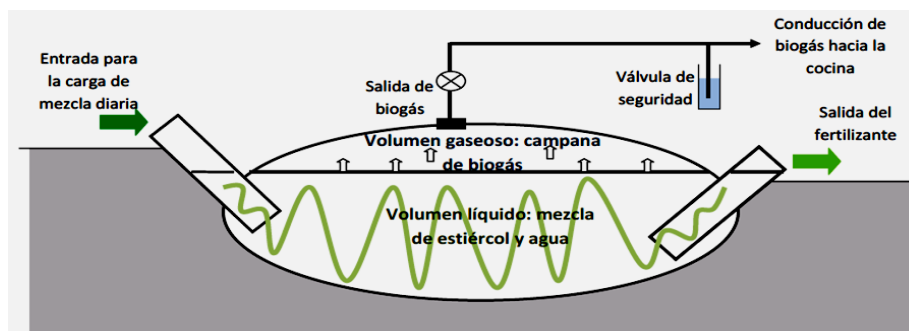
la instalación de un sistema de biodigestores que genera energía limpia, renovable de bajo costo para el habitante del área rural (Lussac, 2011).

### 1.1.2.- Descripción del biodigestor

Un Biodigestor es un sistema sencillo de construir y solventar la problemática energética y ambiental. Así como realizar un adecuado manejo de residuos orgánicos, excrementos de animales y humanos. Es un contenedor llamado (digestor o reactor), el cual está herméticamente cerrado y dentro del cual se deposita material orgánico, como ser los excrementos, desechos vegetales y (exceptuando los cítricos y aguas con detergente y jabón ya que éstos acidifican). Los materiales orgánicos y con cierta cantidad de agua se depositan al digestor, luego se fermenta produciendo metano (biogás) y biofertilizantes orgánicos ricos en fósforo, potasio, nitrógeno y otros. Este sistema incluye una cámara de carga y nivelación del agua residual en el reactor y un dispositivo para captar y almacenar el biogás.

El proceso de biodigestión se da, porque existe un grupo de microorganismos como ser las bacterianas anaeróbicas, que al actuar en el material orgánico produce una mezcla de gases (con alto contenido de metano) se le llama biogás. Los excrementos y los residuos orgánicos tienen alto grado de concentración de nutrientes, el cual se puede ser utilizado como biofertilizantes, ya que mediante de este sistema de tratamiento anaeróbico no contiene olor (<https://www.repository.uaeh.edu.mx/bistraen/123456789/10722/biodigestores.pdf>).

#### CUADRO N° 1.- Esquema de un biodigestor y conducción de biogás hacia la cocina



FUENTE: Sosa, 1999

## **1.2.- Clases de biodigestor**

### **1.2.1.- Biodigestores de flujo discontinuo**

Se cargan de 2 a 3 meses dependiendo del clima. Para este tipo de biodigestor se usa polietileno y es menos costoso para tener un biodigestor, se retira la biomasa cuando ya se ha dejado de producir el biogás, solo entonces se renueva de materia orgánica. Por lo general se requiere mayor mano de obra, de un espacio para almacenar la materia prima y un depósito de biogás (Instituto de Investigaciones Eléctricas, 1980).

### **1.2.2.- Biodigestor semi-continuo**

Es el más antiguo y sencillo biodigestor anaeróbico, es adecuado para aguas residuales domésticas y para pozos sépticos. Esta instalación su vida útil es de muchos años, siempre cuando se realice un mantenimiento sistemático. Este reactor consiste en una cámara de gas firme construida con ladrillos, piedra y hormigón (Savran, 2005).

### **1.2.3.- Biodigestores de flujo continuo**

Se puede controlar la digestión por la cantidad requerida de biomasa depositada diariamente al digestor. Es apto para procesar aguas servidas de las industrias, desechos orgánicos de origen animal o vegetal. Este tipo de biodigestores se puede instalar en siguientes sistemas:

- Sistema de tanques múltiples.
- Sistema de desplazamiento por gravedad

La función principal es de servicio ambiental, que reduce en 60 a 90 % los contaminantes de las aguas servidas, dejando los nutrientes en forma simples y asimilables por las plantas y un combustible llamado biogás que posee más de 60 % de metano (CH<sub>4</sub>) que sirve para cocinar o como biocombustible ([https://www.es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia: Portada](https://www.es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada)).

**CUADRO N° 2.- Tiempo de retención de la mezcla estiércol y agua en función a la temperatura media del lugar**

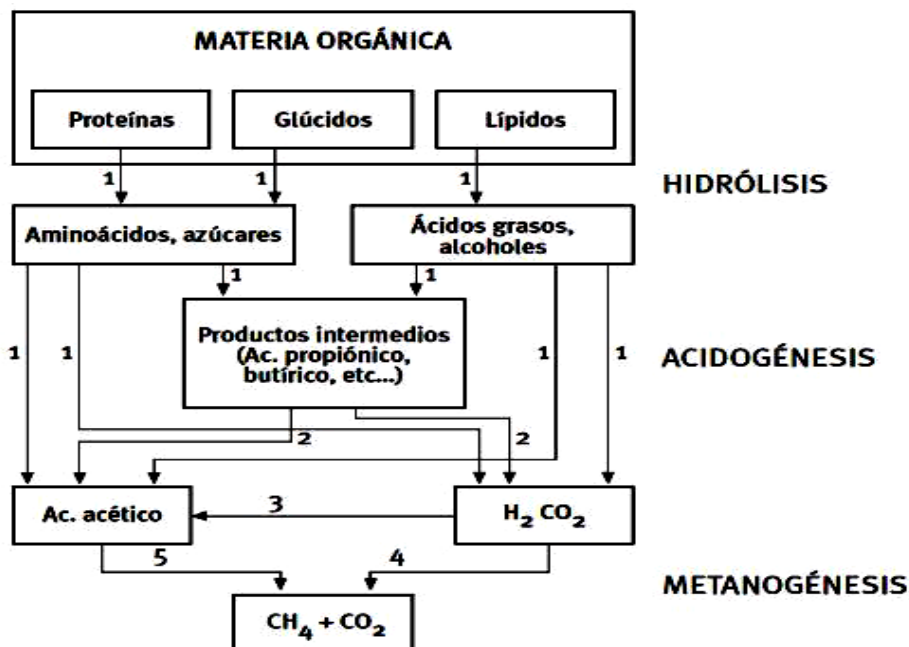
Región característica	Temperatura (°C)	Tiempo de retención (días)
Trópico	30	15
valle	20	25
Altiplano	10	60

FUENTE: Stout, B.A, 1983

### 1.3.- Abono orgánico

Un Abono orgánico es un fertilizante que proviene de animales, humanos, restos vegetales, residuos de los alimentos u otra fuente orgánica y natural. En cambio, los abonos inorgánicos están fabricado por medios artesanales, como los abonos nitrogenados (hechos a partir de combustibles fósiles y aire) son obtenidos de la minería como los fosfatos o el potasio, calcio y zinc (Pérez Porto, 2010).

**CUADRO N° 3.- Proceso de generación del biogás**



FUENTE: Pérez Porto, 2014

**CUADRO N° 4.- Producción de estiércol fresco diario**

<b>Especie animal por cada 100 kg de peso vivo</b>	<b>Estiércol producido (kg)</b>
Cerdo	4
Bovino	7
Caprino	4
Conejos	3

FUENTE: Mc. Garry, 1978

**1.3.1.- Excremento de ganado porcino**

La composición del excremento de porcino, depende de los factores fisiológicos, ambientales y alimentación. Los excrementos de porcino son muy interesantes desde el punto de vista de la digestión anaerobia, no solo por su alta capacidad de producir metano, sino también por su alta concentración de nutrientes, con respecto a otros sustratos, lo que les confiere buenas características como abono agrícola, especialmente después de la biodigestión (Mote,1980).

**CUADRO N° 5.- Composición del estiércol fresco de cerdo**

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>VALOR (%)</b>
Nitrógeno total	1.5 -5
Fosforo	1.3
Potasio	1.3
Sólidos totales	1.5-12
PH	6.5
Proteínas	1.1
Celulosa	7.1
Lípidos	8.4
Almidón	0.9

FUENTE: Mote, 1980

### 1.3.2.- Excremento de ganado bovino

La composición de los excrementos de ganado bovino varía de acuerdo a la zona al tipo de alimentación que recibe. Además del manejo que recibe durante el proceso de conversión a abonos (Aso – Bustos, 1991).

**Cuadro N° 6.- Contenido de macro y micronutrientes del estiércol de ganado bovino**

Abono orgánico	N	K	Ca	Mg	P
	kg/t				
<b>Estiércol</b>	1.3	0.6	1.5	0.4	0.3

FUENTE: Aso –Bustos, 1991

### 1.3.3.- Desechos orgánicos de cocina

Los residuos orgánicos son todos aquellos restos de la materia vegetal o animal que se descomponen. Es decir, los residuos de nuestros alimentos, se trata de materia orgánica muy abundante en nuestros hogares.

Una vez procesado, estos residuos sirven para generar abono orgánico y para producir biogás como energía, un tipo de energía renovable. Los residuos de la cocina que se puede usar para el digestor son los siguientes:

Todos los restos de comida, carnes, pescados, verduras, frutas, y otros incluso los, huesos, pieles, cascaras de papa de banana, huevo, de frutas, restos vegetales, servilletas, papel manchados de comida, comida en mal estado y otros de origen vegetal (<https://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1593/15/UPS.Pdf>).

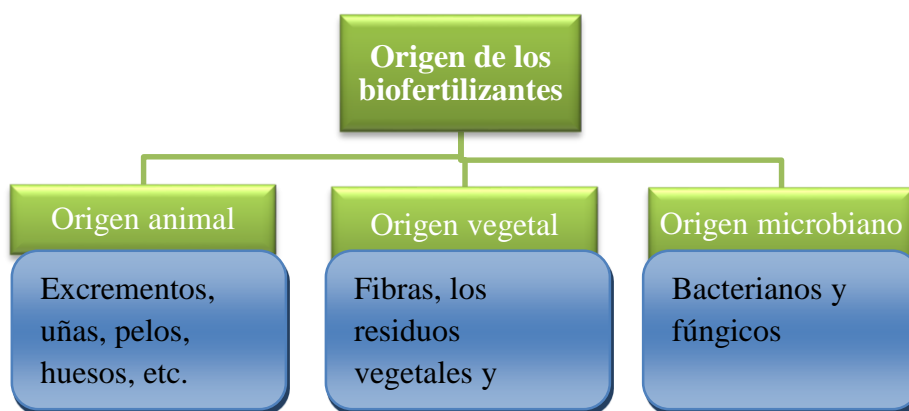
#### 1.3.3.1.- Material orgánico que inhíbe la fermentación en un digestor

Que no debemos introducir al digestor las cáscaras de cítricos, como ser:

De mandarina, naranjas, limón y aguas q contengan jabones y detergentes, ya que estos inhiben la acción metabólica de las bacterias en el digestor (Vera, 1984).

### 1.4.- Biofertilizantes

Los biofertilizantes son abonos orgánicos, que proporcionan a las plantas todos los nutrientes que necesitan y ayudan a mejorar la calidad del suelo, creando un entorno microbiológico natural. Por ejemplo, se propone producir y utilizar biofertilizante para mejorar el rendimiento de los cultivos mediante las bacterias, nitrificantes (rizobios), hongos micorrizos y otros microorganismos en el suelo



El uso de los biofertilizantes tiene las siguientes ventajas:

- No presenta olor
- Aumenta la cantidad de nitrógeno, fosforo, potasio otros nutrientes
- Recupera los suelos agrícolas empobrecidas que fueron aplicados en exceso con fertilizantes inorgánicos y sustancias químicas
- Los biofertilizantes tienen la capacidad de retener la humedad del suelo, permitiendo que las plantas, se desarrollen durante la estación seca

(<http://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/26-Biodigestor-Familiar.pdf>).

#### 1.4.1.- El biol como fuente orgánica de fitorreguladores

El biol es una fuente de fitorreguladores que se obtienen del proceso de descomposición anaeróbica de los desechos orgánicos, que, contenido los nutrientes, en pequeñas cantidades, es capaz de promover las actividades fisiológicas y estimular el desarrollo de las plantas: Aumenta y fortalece la base radicular de las plantas, acción sobre el follaje (amplía la base foliar), mejora la floración y activa el vigor y

poder germinativo de las semillas. Todo esto traduciéndose en un aumento de producción significativo de las cosechas ([https://www.hivos.org/sites/default/files/publications/estudio\\_sobre\\_el\\_biol\\_sus\\_usus.pdf](https://www.hivos.org/sites/default/files/publications/estudio_sobre_el_biol_sus_usus.pdf)).

**CUADRO N° 7.- Contenidos de nutrientes de los excrementos de ganado porcino y ganado bovino**

Componentes	gr/kg	Componentes	gr/kg
pH	7.96	Magnesio	0.31 gr/kg
Materia seca	4.18 %	Sodio	0.40 gr/kg
Nitrógeno total	2.63 gr/kg	Azufre	0.33 gr/kg
NH <sub>4</sub>	1.27 gr/kg	Carbono	1.10 gr/kg.
Fosforo	0.18 gr/kg	Aluminio	0.04 gr/kg
Potasio	2.66 gr/kg	Boro	0.55 gr/kg
Calcio	1.05 gr/kg	Zinc	0.05 gr/kg

**1.4.2.- El biosol**

El biol es un biofertilizante extraído del biodigestor que luego de ser tratado y oreado, se emplea como abono orgánico enriquecido, como estimulante del crecimiento radicular y parte aérea de la planta (Gómez, 1979).

**CUADRO N° 8.- Contenidos de nutrientes de los excrementos de ganado bovino y ganado porcino**

Componentes	(%)	Componentes	(%)
pH	7.6	Potasio	2.8
Agua	15.7	Calcio	3.5
Sustancia orgánica seca	60.3	Magnesio	2.3
Nitrógeno total	2.7	Sodio	0.3
Fosforo	1.6	Azufre	0.4

FUENTE: [http://www.germanprofec.com/cms/upload/Reports/Estudio/sobre\\_ntz.pdf](http://www.germanprofec.com/cms/upload/Reports/Estudio/sobre_ntz.pdf)



### 1.4.3.- Biogás

El biogás es el metano producido durante el proceso de fermentación anaerobia en digestor, este proceso es con la presencia de bacterias anaeróbicas (sin presencia de oxígeno). La energía que contiene en la materia orgánica procede originalmente de la luz solar que se transforma en energía bioquímica por medio de la fotosíntesis.

La materia orgánica para la producción de biogás es de origen vegetal, animal, residuos orgánicos, aguas servidas de industrias y otros. El biogás está compuesto principalmente por metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), además de otros gases en cantidades menores y este biocombustible es un componente energético ([http://www.repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103926/cfperez\\_m.pdf](http://www.repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103926/cfperez_m.pdf)).

#### CUADRO N° 9.- Proceso bioquímico que sucede en el interior de un digestor

Hidrólisis	Acidogénesis	Metanogénesis
-Polisacáridos (celulosa, almidón) -Lípidos (grasas) -Las proteínas, son reducidas a moléculas más simples	Transformados principalmente en: Ácido acético, hidrógeno y CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub> y CO <sub>2</sub>

FUENTE: [http://www.germanprofec.com/cms/upload/Reports/Estudio/sobre\\_ntz.pdf](http://www.germanprofec.com/cms/upload/Reports/Estudio/sobre_ntz.pdf).

#### CUADRO N° 10.- Composición química de biogás

Composición	Formulación química	Porcentaje (%)
Metano	CH <sub>4</sub>	60-70
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	27-40
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0.5
Hidrogeno	H <sub>2</sub>	1.0
Monóxido de carbono	CO	0.1
Oxigeno	O <sub>2</sub>	0.1
Ácido sulfhídrico	H <sub>2</sub> S	0.1

FUENTE: Álvarez, 2004

## **1.5.- Formas de excavación para la base de un biodigestor**

Para construir un biodigestor de esta, hay que cavar un hoyo primero. El hoyo deberá guardar las mismas dimensiones que el biodigestor. Se recomienda realizar la base en forma de U o V (<http://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/26-Biodigestor-Familiar.pdf>).

### **1.5.1.- Condiciones adecuadas para una biodigestión**

Para obtener los biofertilizantes se debe dar las siguientes condiciones:

- 1.- Temperatura entre los 20 - 60 °C.
- 2.- pH (nivel de acidez-alcalinidad) alrededor de siete.
- 3.- Ausencia de oxígeno.
- 4.- Gran nivel de humedad.
- 5.- Materia orgánica sin cítricos.
- 6.- Que la materia prima se encuentre en trozos lo más pequeños posibles.
- 7.- Equilibrio de carbono/nitrógeno (Jiménez, 2005).

#### **1.5.1.1.- Temperatura**

La temperatura es un factor muy importante para obtención de biofertilizantes y biogás, que debemos dar las condiciones óptimas para minimizar los tiempos de producción, la temperatura óptima es de 30 °C a 35 °C aproximadamente (Benito, 2011).

#### **1.5.1.2.- Acidez**

Este factor nos indica cómo se desenvuelve la fermentación anaeróbica en el digestor, el valor de pH es muy importante, que este caso el pH 7 es adecuado es un pH neutro, por encima de este significa alcalinidad, por debajo significa acidez; Cuando los valores superan el pH 8, esto indica una acumulación excesiva de compuesto alcalino y la carga corre riesgo de putrefacción. Los valores inferiores a 6 nos indican una descompensación entre las fases ácidas y metanogénica (Muller, 1980).

### 1.6.- Microorganismos anaeróbicos en un biodigestor

El rendimiento de un sistema de biodigestión anaeróbica, está ligada principalmente a estructura de la actividad microbiana presente en el digestor. Los parámetros ambientales y de operación del proceso se efectúan en el comportamiento, rendimiento y eventualmente en el destino de la comunidad microbiana (López, 1983).

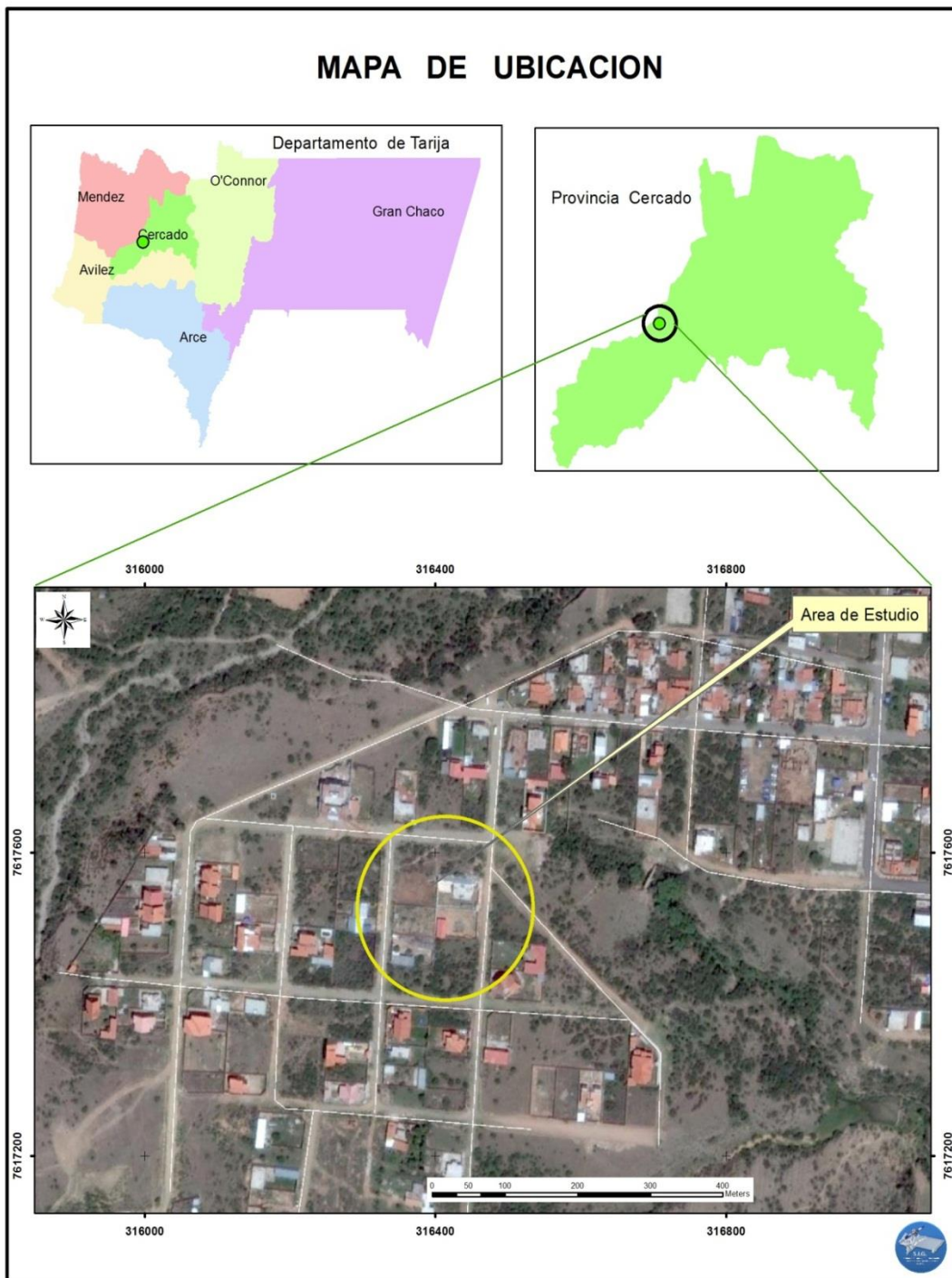
**CUADRO N° 11.- Clasificación de bacterias en un biodigestor según la fase donde actúan**

<b>Grupo</b>	<b>Género</b>
Bacterias: Hidrolíticas, Proteolíticas, Celulolíticas y Clucolíticas	Eubacterium Clostridium Thermoanaerobius
Bacterias: Homoacetogénicas	Clostridium Acetobacterium Eubacterium Butyribacterium
Bacterias: Metanogénicas	Methanobacterium Methanobrevibacter Methanococcus Methanomicrobium Methanogenium Methanospirillum Methanossarcina Methanothix
Bacterias: Sulforreductoras	Desulfovibrio Desulfotomaculum

FUENTE: Álvarez, 2014

## CAPÍTULO II

### MAPA DE UBICACION



## **2.1.- Descripción de la zona del experimento**

### **2.1.1.- Ubicación geográfica**

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en un barrio periférico de la ciudad de Tarija Provincia Cercado en la zona de Alto Senac, a 5 km del centro de la ciudad, Geográficamente se encuentra ubicado entre los paralelos 21° 32' 13" latitud sur, 64° 46' 14" latitud norte y con una altura de 1987 m.s.n.m. La zona presenta los siguientes datos climatológicos, una precipitación promedio anual de 600 mm con una temperatura media de 18 °C (promedio), presentándose las temperaturas más bajas en los meses de julio, junio, agosto y las máximas entre diciembre a febrero (estudio de CANAPAS Tarija, 1998).

### **2.1.2.- Ganadería**

En cuanto a la ganadería tenemos: ganado vacuno, ganado porcino, ganado ovino, ganado caprino y ganado equino

## **2.2.- Materiales**

### **2.2.1.- Material orgánico**

El material orgánico que se utilizó para el presente trabajo de investigación es lo siguiente:

- Estiércoles de ganado bovino materia orgánica 20 kg
- Estiércoles de ganado porcino materia orgánica 20 kg
- Los desechos orgánicos de la cocina (basura orgánica) Materia orgánica 20 kg

### **2.2.2.- Materiales de campo**

- Cuaderno de apuntes (anotaciones)
- Spray (marcación de tratamientos)
- Cámara fotografía

### 2.2.3.- Materiales utilizados y costos para construcción de los 3 biodigestor

**Cuadro N° 12.- Descripción de los materiales**

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio Bs</b>
Polietileno negro (1.50 x 1m) 250 micrones	3 unidades	Polietileno servirá para hacer la cámara del digestor	36
Plástico blanco 50 micras	3 unidades	Sirve para el reservorio de biogás	12
Paja	10 kg	Sirve para tendido de piso del digestor	10
Caño de pvc ½ plg	9 m	Conexión hacia el digestor	32
Brida de pvc ½ plg	3 unidades	Para la salida de biogás del digestor	21
Codos de pvc ½ plg	3 unidades	Para empalme en las conexiones	7
Tee de ½ pvc plg	3 unidades	Para la distribución del biogás	7
Llave bola de ½ pvc plg	3 unidades	Para controlar salida de biogás	12
Teflón	2 unidades	Para empalme entre tubos	4
Goma (liga)	10 m	Para amarre los tubos de salida y entrada	2
Tapón de pvc ½ plg	3 unidades	Sirve para tapar el escape de biogás	6
			149 Bs

**Cuadro N° 13.- Herramientas y utensilios utilizados**

Herramientas y utensilios	Flexso, picota, pala, cuchilla, sierra, metálica, alambre, tijera, tarraja ½ plg, romana y bolsa
Utensilios para preparar la solución	Turril, balde, jarra y carretilla

**2.2.4.- Descripción de solución preparada**

Estiércol de ganado porcino = 45 litros agua y 20 kg de material orgánico

Estiércol de ganado bobino = 45 litros agua y 20 kg de material orgánico

Desechos orgánicos = 45 litros de agua sucia de la cocina y 20 kg de material orgánico

**2.2.5.- Registro de datos**

Para poder llevar adelante este trabajo de investigación se registraron los siguientes datos: Fecha de instalación del biodigestor y la producción de biogás, biol y biosol

**2.2.6.- Días obtención de biol y biosol**

Se toma este dato cuando el biodigestor está lleno o totalmente inflado de biogás a partir de ahí tendremos los días de producción o cosecha

**2.3.- Metodología****2.3.1.- Estadística descriptiva**

El presente trabajo de investigación se plantea la utilización del método de estadística descriptiva para los tres biodigestores (3 cámaras de digestor)

**2.3.2.- Descripción del experimento**

Para el experimento se instaló los tres biodigestores; (BD N° 1), biodigestor (BD N° 2) y biodigestor (BD N° 3) los biodigestores tienen la misma cantidad de carga de 65 litros de solución de materia orgánica con agua.

Experimentos	Materia orgánica 20 kg y 45 litros de agua
Biodigestor (BD N° 1)	65 litros
Biodigestor (BD N° 2)	65 litros
Biodigestor (BD N° 3)	65 litros

### **2.3.3.- Procedimiento experimental**

Mediante este procedimiento experimental se han descrito los resultados de cada biodigestor, que contenían excremento de ganado porcino (Biodigestor N° 1), excremento de ganado bovino (Biodigestor N° 2) y los desechos Orgánicos (Biodigestor N° 3).

Para la obtención de biol, biosol y biogás se ha descrito por la “Estadística Descriptiva” los tres biodigestores.

### **2.3.4.- Biodigestores de flujo continuo**

Se cargan de 2 a 3 meses dependiendo del clima. Para este tipo de biodigestor se usa polietileno negro y es menos costoso para tener un biodigestor, y luego se retira la biomasa cuando ya se ha dejado de producir el biogás, solo entonces se renueva la materia orgánica, por lo general se requiere mayor mano de obra y de un espacio para almacenar la materia prima y de un depósito de biogás.

(<https://www.es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada>).

### **2.3.5.- Toma de datos**

Se hizo el seguimiento para determinar la acumulación de biogás en las tres cámaras de biodigestores, en cada uno de los sistemas de biodigestores se las denomina de la siguiente manera:

Biodigestor N° 1, Biodigestor N° 2 y Biodigestor N° 3. Para determinar la cantidad de biogás se tomaron en cuenta el inflado del biodigestor. La obtención del biogás, biol y biosol se representaron en una gráfica, para medir en volumen los productos obtenidos mediante la fermentación anaeróbica en el biodigestor



### 2.3.6.- Cálculo de volumen del biogás en el reservorio

El volumen del reservorio está de acuerdo a la cantidad de producción del biogás en el digestor.

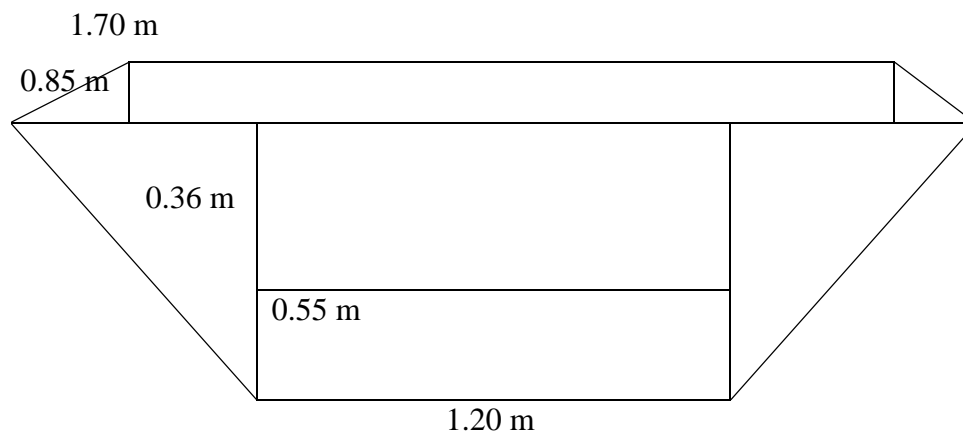
El reservorio es en forma de esfera, el radio tiene 0.40 m y la altura es de 0. 80 m

r = radio del reservorio      h= altura del reservorio

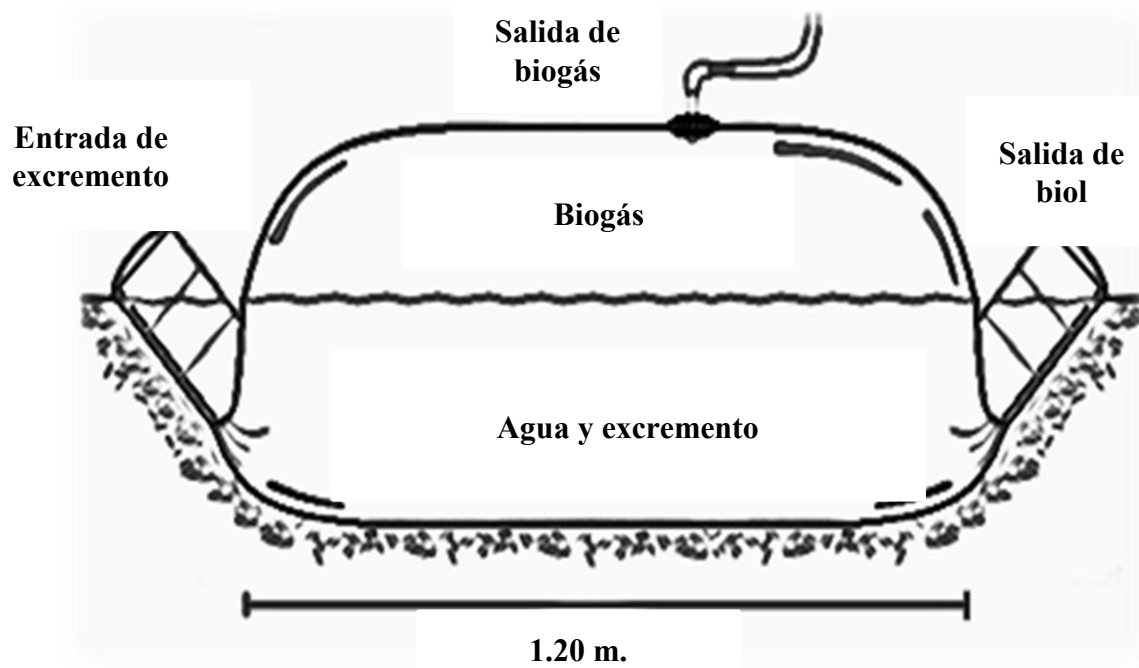
$$V = \frac{4}{3} r^3 \quad V = 0.22 \text{ m}^3$$

### 2.3.7.- Diseño de un biodigestor

#### Dimensiones y cavado de la zanja



#### Instalación de un biodigestor



## CAPÍTULO III

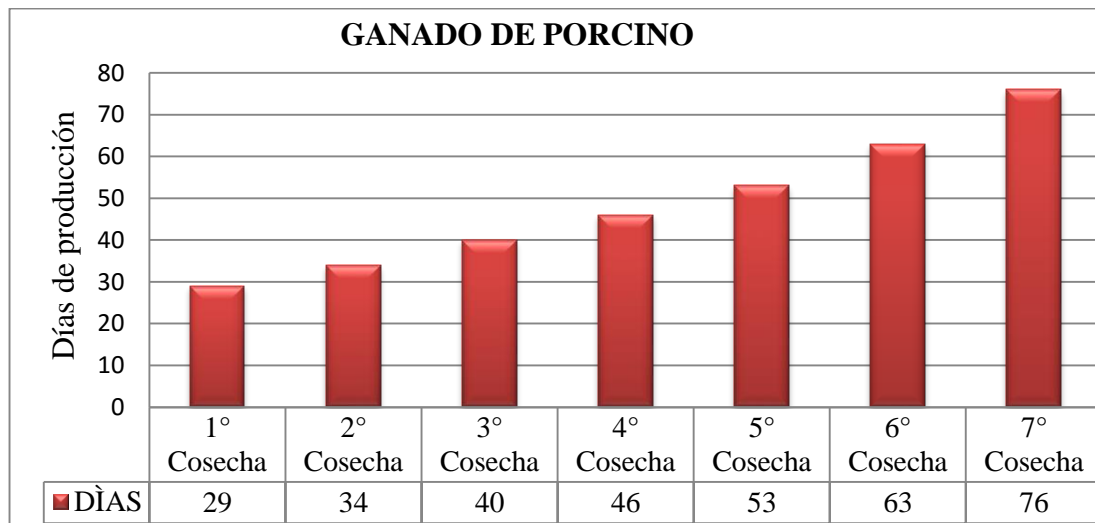
### 3.1.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1.1.- Estadística descriptiva

Este análisis estadístico será aplicado, en cada uno de los experimentos (evaluación del estado final encontrado). Se aplicó el método de análisis de estadística descriptiva

#### 3.1.2.- Obtención de biogás a partir de excremento de ganado porcino

**GRÁFICA N° 1.- Días a obtención del biogás (BD N° 1)**

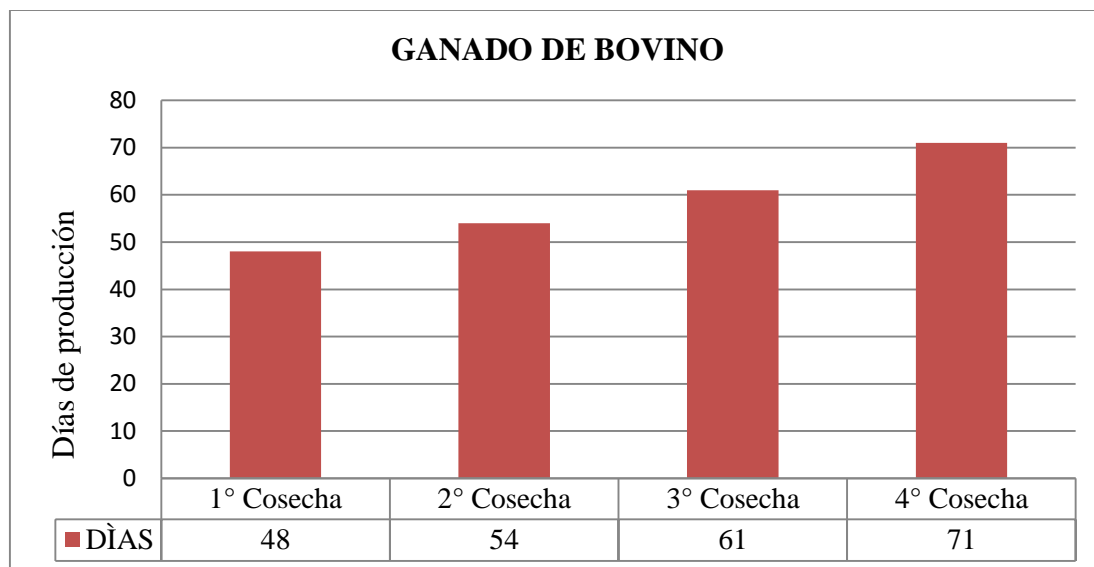


Esta gráfica nos muestra los volúmenes de biogás obtenidos del Biodigestor N° 1 que contenía excremento de ganado porcino. Donde se ha llegado obtener 7 cosechas de la siguiente manera:

En cada cosecha de biogás se logró obtener  $0.22 \text{ m}^3$  haciendo un total de  $1.54 \text{ m}^3$ ; la primera cosecha fue a los 29 días; la segunda cosecha se la obtuvo a los 34 días; mientras que la tercera cosecha de biogás se realizó a los 40 días; la cuarta cosecha a los 46 días; la quinta cosecha a los 53 días; la sexta cosecha a los 63 días y la última cosecha fue obtenido a los 76 días. La producción de biogás se debe a las condiciones óptimas que se dio durante el proceso de digestión de las bacterias anaeróbicas.

### 3.1.3.- Obtención de biogás a partir de excremento de ganado bovino

**GRÁFICA N° 2.- Días a obtención del biogás (BD N° 2)**



Esta gráfica nos muestra los volúmenes obtenidos de biogás a partir del excremento de ganado bovino, mediante la fermentación anaeróbica en el biodigestor N° 2, en él se logró obtener 4 cosechas del biogás, cada cosecha con un volumen de 0.22 m<sup>3</sup>:

La primera cosecha de biogás se logró a los 48 días, de fermentación anaeróbica en el biodigestor:

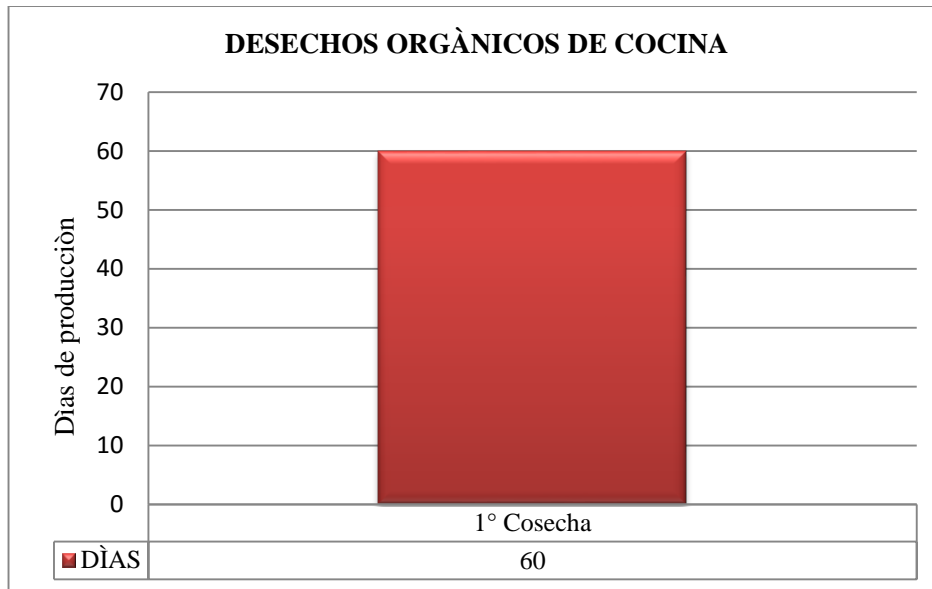
Segunda cosecha a los 54 días, de fermentación anaeróbica en el biodigestor.

Tercera cosecha a los 61 días de fermentación anaeróbica en el biodigestor.

Cuarta cosecha a los 71 días de fermentación anaeróbica en el biodigestor y haciendo un total de 0.88 m<sup>3</sup> de biogás.

### 3.1.4.- Obtención de biogás a partir de los desechos orgánicos de cocina

**GRÁFICA N° 3.- Días a obtención del biogás (BD N° 3)**

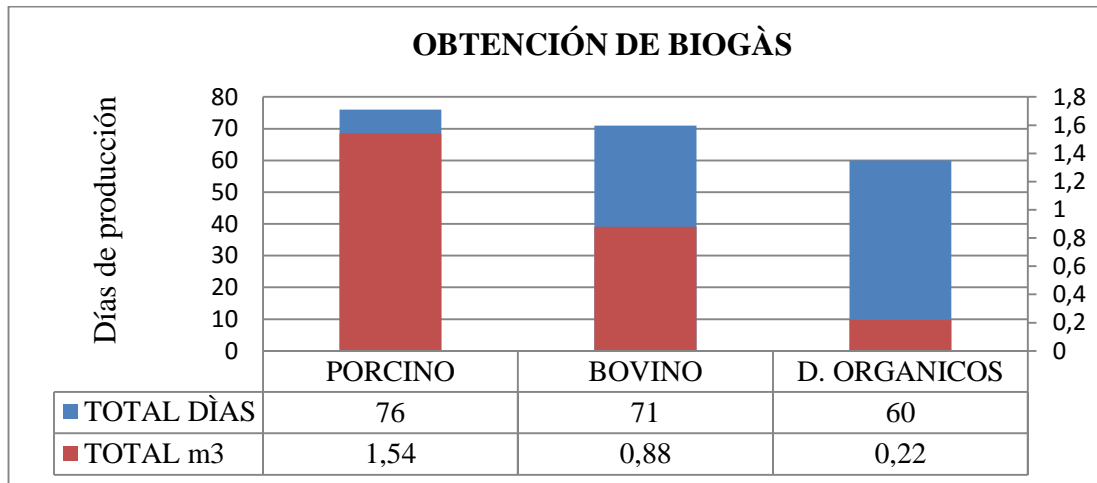


Esta gráfica nos muestra los volúmenes obtenidos de biogás, a partir de los desechos orgánicos de la cocina, mediante la fermentación anaeróbica. Así mismo, se logró una sola cosecha de 0.22 m<sup>3</sup> de biogás.

La obtención del biogás se logró a los 60 días; Puesto que los desechos orgánicos de la cocinas son sustratos más grandes y que no han sufrido ningún proceso de digestión y fermentación, por esa razón la materia orgánica contiene menor cantidad de bacterias anaeróbicas, y el proceso de fermentación anaeróbica es más lento en comparación a la producción de biogás de los excrementos de ganado porcino y bovino, las bacterias se multiplicaron lentamente y por esa razón se logró obtener una sola cosecha con un mayor lapso de tiempo

### 3.1.5.- Comparación de biogás obtenido a partir de los excrementos de ganado porcino ganado bovino y desechos orgánicos de cocina

**GRÁFICA N° 4.- Comparación de biogás obtenido mediante la fermentación anaeróbica en el biodigestor a partir de los excrementos de ganado porcino, ganado bovino y desechos orgánicos**



Esta gráfica nos muestra los volúmenes obtenidos de biogás, de los tres biodigestores (BD N° 1, BD N° 2 y BD N° 3) de los excrementos de ganado porcino, ganado bovino y desechos orgánicos de la cocina, mediante la fermentación anaeróbica en el digestor.

**Biodigestor (BD N° 1).**- Con el excremento de ganado porcino, se logró obtener 7 cosechas; Cada cosecha es de 0.22 m<sup>3</sup> haciendo un total de volumen 1.54 m<sup>3</sup> de biogás en 76 días de fermentación anaeróbica en el biodigestor

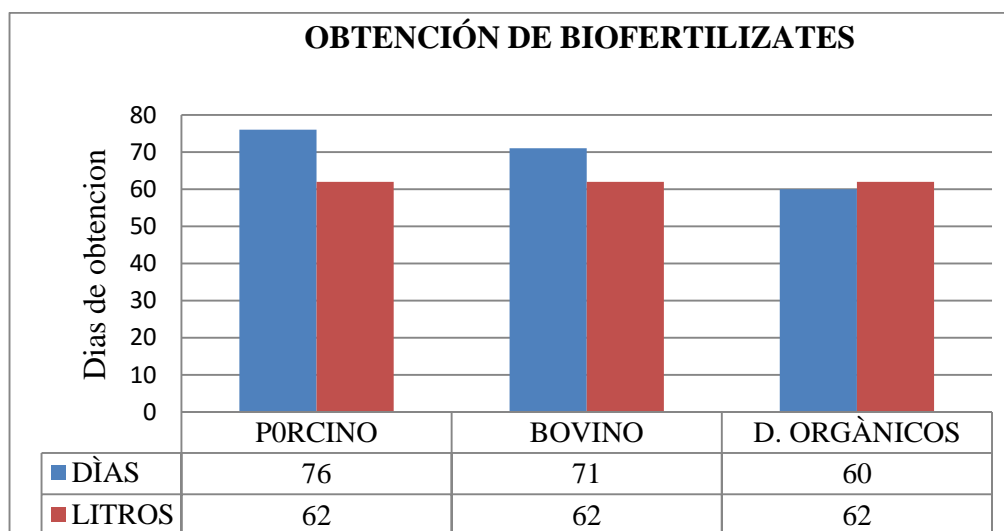
**Biodigestor (BD N° 2).**- Con el excremento de ganado bovino, se logró obtener 4 cosechas; Cada cosecha es de 0.22 m<sup>3</sup> haciendo un total de volumen 0.88 m<sup>3</sup> de biogás en 71 días de fermentación anaeróbica en el digestor.

**Biodigestor (BD N° 3).**- Con los desechos orgánicos, se logró una sola cosecha con un volumen 0.22 m<sup>3</sup> de biogás en 60 días de fermentación anaeróbica en le digestor.

Los volúmenes obtenidos se deben a la actividad microbiana que existe en el excremento de ganado porcino. La materia orgánica se caracteriza por tener un fuerte olor, lo cual está íntimamente relacionado con el tipo de alimentación que recibe el animal. Por lo tanto, esto quiere decir que contiene mayor cantidad de bacterias anaeróbicas. Por esa razón la fermentación es más rápida en comparación a los otros excrementos.

### 3.1.6.- Obtención de Biofertilizantes a partir de los excrementos de ganado porcino, ganado bovino y desechos orgánicos de cocina

**GRÁFICA N° 5.- Obtención de Biofertilizantes de los biodigestores que contenían los excrementos de ganado porcino, ganado bovino y desechos orgánicos**



Esta gráfica nos muestra las obtenciones de los biofertilizantes de los tres biodigestores (BD N° 1) excremento porcino, (BD N° 2) excremento de bovino y (BD N° 3) desechos orgánicos de cocina después de la fermentación anaeróbica en el biodigestor.

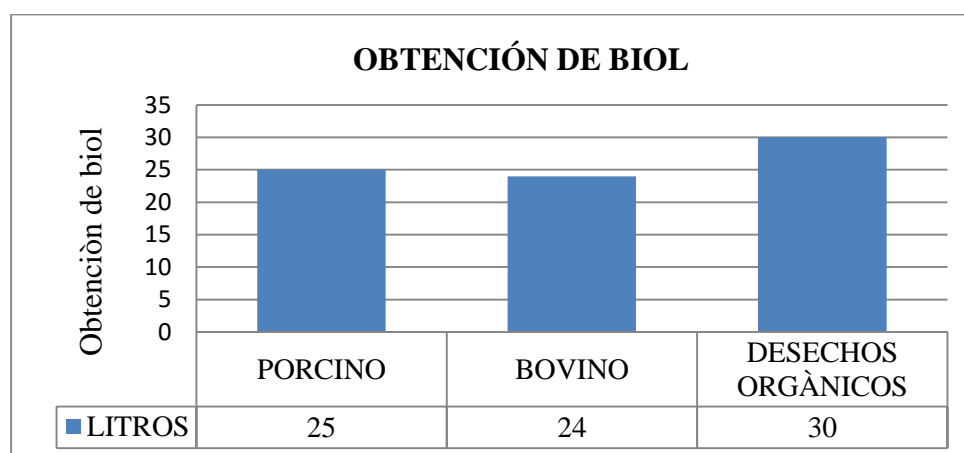
**Biodigestor (BD N° 1).**- Del excremento de ganado porcino, se logró obtener 62 litros de Biofertilizantes en 76 días de fermentación anaeróbica en el digestor.

**Biodigestor (BD N° 2).**- Del excremento de ganado bovino, se logró obtener 62 litros y el proceso de fermentación anaeróbica en el digestor duro 71 días.

**Biodigestor (BD N° 3).**- Los desechos orgánicos de la cocina, se logró obtener 62 litros en 60 días y luego se retiró el material orgánico ya digerido en el biodigestor. El biofertilizante ya es apto para aplicar en cualquier tipo de cultivos. Para su mejor aplicación se separa la parte líquida (biol) y la parte sólida (biosol).

### 3.1.7.- Obtención de biol a partir de los excrementos de ganado porcino, ganado bovino y desechos orgánicos de cocina

**GRÁFICA N° 6.- Comparación de los volúmenes de biol obtenido mediante la fermentación anaeróbica en el biodigestor de los excrementos de ganado porcino, ganado bovino y desechos orgánicos**



Esta grafica nos muestra los volúmenes obtenidos de biol mediante la fermentación anaeróbica en un digestor:

Se logró obtener 25 litros de biol del excremento de ganado porcino en 76 días.

Se logró obtener 24 litros de biol del excremento de ganado bovino en 71 días.

Se logró obtener 30 litros de biol de los desechos orgánicos de la cocina en 60 días.

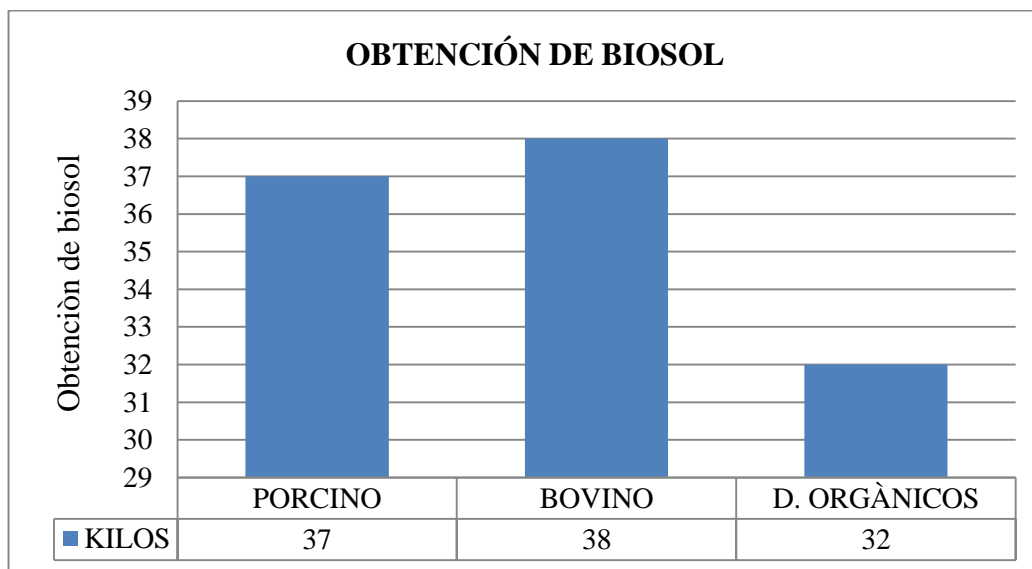
La diferencia existe entre los volúmenes obtenidos y días de fermentación de la materia orgánica, esto se debe principalmente al contenido de la humedad del



material orgánico. Que cada biodigestor contenía la misma carga del material orgánico y la misma cantidad de agua.

### 3.1.8.- Obtención de biosol a partir de los excrementos de ganado porcino, ganado bovino y desechos orgánicos de cocina

**GRÁFICA N° 7.- Comparación del volumen de biosol obtenido mediante la fermentación anaeróbica en el biodigestor de los excrementos de ganado porcino, ganado bovino y desechos orgánicos**



Esta gráfica nos muestra las cantidades obtenidas del biosol, mediante la fermentación anaeróbica en el digestor se ha logrado obtener los siguientes resultados:

Del excremento de ganado porcino se logró obtener 37 kg del biosol, en 76 días.

Del excremento de ganado bovino se logró obtener 38 kg del biosol, en 71 días.

De los desechos orgánicos se logró obtener 32 kg del biosol, en 60 días.

Las diferencias de los volúmenes obtenidos se deben al contenido de la humedad del material orgánico, puesto que cada biodigestor contenía la misma carga y la misma cantidad de agua.

## CAPÍTULO IV

### 4.1.- CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados del presente trabajo de investigación, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- La obtención de los biofertilizantes y biogás a partir de desechos orgánicos de origen vegetal y animal, es viable por medio del uso de biodigestores que permiten contar una alternativa, para el tratamiento de residuos orgánicos generados por la actividad agropecuaria, de agroindustrias y fábricas de producción de alimentos.
- Se obtuvo un volumen total de biogás de 2.64 m<sup>3</sup> en 76 días de fermentación anaeróbica en los tres biodigestores.
- En el biodigestor N° 1 con excremento porcino se obtuvieron 7 cosechas de biogás; en cada cosecha se obtuvo 0.22 m<sup>3</sup> haciendo un volumen total de 1.54 m<sup>3</sup> en 76 días.
- En el biodigestor N° 2 con excremento vacuno se obtuvieron 4 cosechas de biogás, en cada cosecha se obtuvo 0.22 m<sup>3</sup> haciendo un volumen total de 0.88 m<sup>3</sup> de biogás en un tiempo de 71 días.
- En el biodigestor N° 3 de los desechos orgánicos, se obtuvo una sola cosecha, haciendo un volumen total 0.22 m<sup>3</sup> de biogás en un tiempo de 60 días.
- La obtención del biol en los tres biodigestores (BD N° 1, BD N° 2 y BD N° 3) fue de 79 litros en un tiempo total de 76 días. Del excremento de porcino se obtuvieron 25 litros de biol en 76 días, del excremento de bovino se obtuvieron 24 litros en 71 días de fermentación y de los desechos orgánicos se obtuvieron 30 litros en 60 días, siendo esta última la que produjo la mayor cantidad de biol y en el menor tiempo.

- La obtención de biosol en los tres biodigestores (BD N° 1, BD N° 2 y BD N° 3) fue de 107 kg en un tiempo total de 76 días. La mayor cantidad de biosol se ha obtenido del excremento de ganado bovino 38 kg, con el excremento de ganado porcino se obtuvo 37 kg y de los desechos orgánicos se obtuvo 32 kg.

#### 4.2.- RECOMENDACIONES

- Para la preparación de la solución se debe usar agua sin detergentes y la materia orgánica sin restos vegetales de cítricos, los cuales inhiben la actividad microbiana en el biodigestor.
- Después del llenado de la solución al digestor, se debe revisar las instalaciones de brida y el sellado de la cañería de (PVC). Para que no haya el ingreso del aire de tal manera la actuación microbiana sea más rápida en el digestor y los biofertilizantes sean de buena calidad.
- Después de unos días de la instalación se debe revisar el biodigestor porque puede existir algún desperfecto con la instalación del biodigestor y ahí se debe sellar la entrada y salida del digestor.
- Los biofertilizantes biol y biosol no producen malos olores, por lo que se recomienda para ser aplicados como abonos orgánicos en todo tipo de cultivos y plantaciones.
- Se recomienda la construcción de biodigestores en unidades familiares cerca de las represas, lagos y donde exista oportunidad de acopiar mucha basura. De esta manera disminuir el impacto ambiental.
- Los biodigestores permiten contar con una alternativa eficiente, para la producción de fertilizantes de bajo y de alto asimilación de las plantas

