

# **Diseño de un Biodigestor para una Finca del Recinto San Luís de las Mercedes del Cantón las Naves de la Provincia de Bolívar**

Ulises Riquelme Monar Castillo  
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción  
Escuela Superior politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador  
[umonar@espol.edu.ec](mailto:umonar@espol.edu.ec)

Ernesto Martínez L. Ing.  
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador  
[emartine@gu.pro.ec](mailto:emartine@gu.pro.ec)

## **Resumen**

*El proyecto de tesis está diseñado en base a datos reales de la situación actual de una localidad del recinto "San Luís de las Mercedes" del cantón Las Naves – Provincia de Bolívar, cuya actividad principal de esta localidad es la agropecuaria, por tanto existe una gran fuente de residuos de biomasa que pueden ser usados para la producción de biogás y bioabono, siendo este un lugar propicio para el desarrollo y aplicación de la tecnología de los Biodigestores para el beneficio directo de la comunidad rural de este lugar, con un manejo técnico y ambiental de los desechos orgánicos.*

*En la realización del proyecto se dan varias alternativas de modelos de biodigestores como el modelo Chino, Hindú y el de Bolsa flexible, los mismos que han sido escogidos por tener una larga trayectoria y han presentado grandes beneficios para sus propietarios.*

*Para la selección del modelo del biodigestor se presenta una detallada matriz de decisión, tomando como consideración aspectos económicos, físicos, operacionales, facilidad y factibilidad de construcción, todo esto con el único objetivo de seleccionar el biodigestor que mejor se ajuste a las condiciones de la finca.*

**Palabra claves:** Biodigestor, biogás y bioabono.

## **Abstract**

*The thesis project is designed based on real data from the current situation of a village in the resort "San Luis de las Mercedes" Canton Las Naves - Province of Bolivar, whose main business of this town is farming, so there is major source of biomass waste that can be used to produce biogas and biofertilizer, this being a place conducive to the development and application of technology for the direct benefit Biodigesters rural community of this place, with technical management environmental and organic waste.*

*In this project, several alternatives are presented as the model biodigesters Chinese, Indian and Flexible Exchange; they have been chosen for having a long life and have made large profits for their owners.*

*For the selection of the Biodigester model provides a detailed decision matrix, taking into account economic, physical, operational ease and feasibility of construction, all with the sole purpose of selecting the Biodigester which best meets the requirements of the farm.*

## 1. Introducción

El presente trabajo trata sobre el “Diseño de un Biodigestor para una finca del recinto San Luís de las Mercedes del cantón las Naves de la Provincia de Bolívar”, con la finalidad de obtener una producción de biogás que pueda cubrir al menos el 35% el consumo mensual de energía como electricidad y gas (GLP) para cocinar, y con el efluente se podrá reducir hasta en un 40% la utilización anual de fertilizantes químicos aplicados a la finca, el mismo que funcionará con recursos propios y/o externos de la finca.

En el diseño del biodigestor se toman en consideración diferentes aspectos de la finca como el consumo mensual de electricidad y gas (GLP), la disponibilidad de la materia prima (estiércol de ganado vacuno), espacio físico, temperatura del lugar y la disposición del recurso económico para cubrir los gastos de construcción, operación y mantenimiento del biodigestor.

En la realización del proyecto se citan varias alternativas de modelos de biodigestores como el modelo Chino, Hindú y el de Bolsa flexible.

Varios aspectos importantes como datos técnicos, operación y mantenimiento del biodigestor, que están incluidos en esta tesis son referencias tomadas de la “Corporación Para La Investigación Energética (CIE)” en Ecuador, que ha experimentado en los últimos años en varias parroquias rurales de la región Sierra de la Provincia de Bolívar, obteniendo como resultados un mejor producto, mayor producción, mejoramiento del suelo y reducción de costos, por la razón de que el bioabono reemplaza a muchos abonos y fertilizantes químicos.

## 2. Objetivo

Diseñar un biodigestor utilizando los desechos orgánicos del ganado vacuno que se generan diariamente en la finca con el fin de producir biogás como combustible que permita cubrir el 35% del consumo mensual de energía, y bioabono como fertilizante orgánico para sustituir al menos en un 40% la utilización anual de fertilizantes químicos aplicados a la finca.

## 3. Metodología

Para el diseño del biodigestor se utilizó la siguiente metodología:

- 1.- Visita a la zona de implementación.
2. Auditar las cantidades de materia prima generada.
- 3.- Conocimientos e investigación propia.
- 4.- Realización de cálculos y determinación de dimensiones.
- 5.- Elaboración de planos.

## 4. Definición del problema

### 4.1. Descripción de la situación actual

La finca en donde será aplicado el proyecto de tesis está ubicada en el recinto “San Luís de las Mercedes” del cantón Las Naves – Provincia de Bolívar, la misma que se encuentra a 300 metros sobre el nivel del mar en una región de clima templado con temperaturas que van desde 18 °C a 32 °C, con una agricultura subtropical y tropical.

En la finca habitan 6 personas, la cual tiene un consumo promedio mensual de 2 tanques de 15 Kg de GLP y 200 KWH de energía eléctrica, como propiedad existen 25 cabezas de ganado bovino y 28 hectáreas de terreno de las cuales 14 hectáreas son dedicadas a la ganadería y las otras 14 hectáreas son aplicadas a la agricultura. Y en los alrededores de la finca también existen viviendas con varias cabezas de ganado, las cuales podrán ser tomadas en consideración para la obtención de la materia prima en caso que se lo requiera.

Actualmente el suministro del servicio eléctrico y de los tanques de gas en la finca y en el recinto son obtenidos de forma irregular por motivo de la situación geográfica del lugar, y los altos costos de los fertilizantes químicos han provocado que la finca realice gastos elevados para poder cubrir la demanda energética necesaria en las actividades diarias de la misma. Además la falta de uso de los desechos orgánicos del ganado han deteriorado el ambiente en la finca y en sus alrededores, como es la generación de mal olor, el desagradable aspecto físico, la presencia de moscas y roedores, y también la contaminación a las casas aledañas, de los ríos y esteros vecinales causada por los desechos orgánicos del ganado arrastrados por la lluvias.

## 5. Diseño del biodigestor

### 5.1. Selección del diseño

Preselección:

Tres tipos de biodigestores podrían ser implementados en la finca por las diversas ventajas que brindan y porque son los más usados, los mismos que son:

- Digestor de domo fijo o diseño “Chino”;
- Digestor de bolsa flexible o “digestor de bolsa”;
- Digestor con gasómetro flotante sin agua salada o diseño “Hindú”.

Para la selección del modelo de biodigestor se realizó una detallada matriz de selección por cada tipo de diseño, a continuación son:

**Tabla 1. Matriz de decisión para el diseño "chino"**

PROCESO EVALUADO: DISEÑO "CHINO"					
	A	B	C	D	E
#	%	ASPECTO EVALUADO	CALIFICACIÓN: 0 = No aplica 1 = Suficiente 3 = Adecuado 5 = Muy bueno	C/5	D*A
1	5	Tipo de materia prima	5	1	5
2	15	Vida útil	5	1	15
3	5	Requerimientos de área	5	1	5
4	20	Costos	3	0,6	12
5	15	Construcción	1	0,2	3
6	15	Operación y mantenimiento	3	0,6	9
7	25	Rendimiento	3	0,6	15
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>				<b>64</b>

Este tipo de digestor tiene aspectos a favor como el tipo de materia prima y vida útil pero la construcción es muy compleja de realizar, por tal razón tiene un 64% de aceptabilidad.

**Tabla 2. Matriz de decisión para el "digestor de bolsa"**

PROCESO EVALUADO: "DIGESTOR DE BOLSA"					
	A	B	C	D	E
#	%	ASPECTO EVALUADO	CALIFICACIÓN: 0 = No aplica 1 = Suficiente 3 = Adecuado 5 = Muy bueno	C/5	D*A
1	5	Tipo de materia prima	5	1	5
2	15	Vida útil	1	0,2	3
3	5	Requerimientos de área	3	0,6	3
4	20	Costos	5	1	20
5	15	Construcción	5	1	15
6	15	Operación y mantenimiento	3	0,6	9
7	25	Rendimiento	3	0,6	15
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>				<b>70</b>

En esta tabla se puede apreciar que este digestor tiene una aceptabilidad del 70%, lo cual indica que tiene muchos puntos a favor y podría ser considerado en el proyecto.

**Tabla 3. Matriz de decisión para el diseño "hindú"**

PROCESO EVALUADO: DISEÑO "INDÚ"					
	A	B	C	D	E
#	%	ASPECTO EVALUADO	CALIFICACIÓN: 0 = No aplica 1 = Suficiente 3 = Adecuado 5 = Muy bueno	C/5	D*A
1	5	Tipo de materia prima	5	1	5
2	15	Vida útil	5	1	15
3	5	Requerimientos de área	5	1	5
4	20	Costos	1	0,2	4
5	15	Construcción	3	0,6	9
6	15	Operación y mantenimiento	5	1	15
7	25	Rendimiento	5	1	25
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>				<b>78</b>

Los resultados de la matriz de decisión indica que la opción del diseño "Hindú" es la más atractiva y favorable para el proyecto del digestor, por lo tanto este tipo de digestor es el seleccionado para el proyecto.

## 5.2. Parámetros del diseño

### a) La cantidad de biogás diario necesaria para cumplir con los objetivos dados en este proyecto:

El principal objetivo de este proyecto es obtener una producción de biogás que pueda cubrir al menos el 35% del consumo mensual de energía de la finca.

### b) La cantidad de estiércol de ganado vacuno requerido para la generación diaria de biogás:

En la finca existe 25 cabezas de ganado vacuno, la producción mínima diaria de estiércol de cada animal es 10 Kg, dando un total de 250 Kg de estiércol, pero solo se podrá recolectar hasta un 65% (162.5 Kg) del estiércol por la razón de que el ganado en la mañana permanece al intemperie y en la noche se aprovecharía la recolección con el ganado en el establo.

### c) Las dimensiones del digestor:

Las dimensiones son determinadas en base al tiempo de retención y la cantidad de estiércol suministrada diariamente al digestor.

### d) Cantidad del efluente removido cada día:

El efluente removido depende de la cantidad de estiércol introducido y de la cantidad de gas producido diariamente.

### e) Temperatura:

La finca tiene la ventaja de encontrarse en una zona subtropical con una temperatura promedio de 22 °C.

### f) Tiempo de resistencia (TR):

Para obtener una buena digestión anaeróbica, el tiempo de resistencia debe ser de 50 días.

## 5.3. Selección del sitio

Los factores que influyen en la decisión son:

- Debe estar cerca donde el gas será usado, por la razón de que las tuberías son costosas.
- Debe estar cerca del suministro de la materia prima o estiércol.
- Debe estar cerca al lugar donde el efluente pueda ser almacenado.
- Debe estar por lo menos de 10 a 15 metros de distancia de alguna fuente de agua, para evitar alguna clase de contaminación.
- Debe estar en un lugar donde este expuesto a los rayos del sol para mantener al digestor caliente.

El lugar en donde será instalado el digestor está cerca al establo del ganado, al lugar de almacenamiento del

efluente y aproximadamente a unos 50 metros de la casa, el terreno esta totalmente despejado para atrapar los rayos del sol y mantener caliente al digestor y en este lugar no hay problema de contaminación para las fuentes de agua porque se encuentran muy lejos de las mismas.

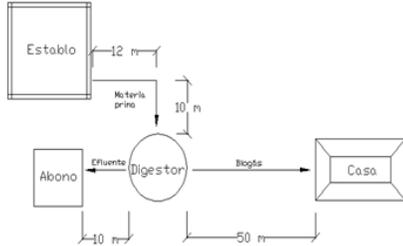


Figura 1. Curva esfuerzo-deformación

### 5.4. Diseño de forma

Con la finalidad de cumplir con los objetivos del trabajo se diseñará un digestor tipo “Hindú” anteriormente seleccionado. La siguiente figura se muestra la forma del digestor que será aplicado en la finca.

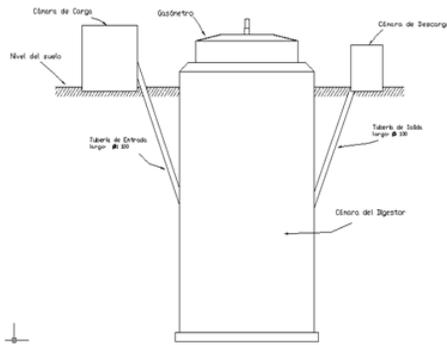


Figura 2. Diseño de forma del digestor seleccionado tipo “hindú”

### 5.5. Cálculos de los componentes

#### I) Cantidad de energía consumida mensualmente por la finca.

La finca consume mensualmente en promedio 2 tanques de 15 Kg de GLP y 200 KWH de electricidad.

Cantidad de GLP en m<sup>3</sup> de Biogás:  
2 tanques de 15 Kg = 2 x (15) = 30 Kg de GLP al mes

$$\frac{30 \text{ Kg GLP}}{\text{mensual}} \times \frac{1 \text{ m}^3 \text{ Biogás}}{0.45 \text{ Kg GLP}} = 66.7 \text{ m}^3 \text{ Biogás / mensual}$$

Cantidad de Electricidad en m<sup>3</sup> de Biogás:

$$\frac{200 \text{ KWH}}{\text{mensual}} \times \frac{1 \text{ m}^3 \text{ Biogás}}{1.2 \text{ KWH}} = 166.67 \text{ m}^3 \text{ Biogás / mensual}$$

Cantidad Total de Energía Consumida (CT):

$$CT = 66.7 \text{ m}^3 \text{ Biogás / mensual} + 166.67 \text{ m}^3 \text{ Biogás / mensual}$$

$$CT = 233.37 \text{ m}^3 \text{ Biogás / mensual}$$

Los 233.37 m<sup>3</sup> Biogás/mensual representa la cantidad total que la finca necesitaría para cubrir el 100% del consumo mensual de energía entre GLP y electricidad, pero por razones económicas y de la disponibilidad de la materia prima el biodigestor será diseñado para producir 5 m<sup>3</sup> Biogás/diario (150 Biogás/mensual), lo cual representa el 64.3 % del consumo total de energía.

#### Aplicaciones del Biogás al servicio eléctrico de la finca:

Una alternativa de mejora para la finca sería que la producción de biogás sea aplicada todos los días a la generación de energía eléctrica en determinadas horas del día (18:00 – 23:00 H) ó al menos cuando existan cortes del servicio eléctrico de la empresa eléctrica que a menudo existen en este sector en especial en épocas de invierno o estiaje, y el resto del tiempo se lo aplicaría para la cocción de alimentos, y para lograr este objetivo se ha seleccionado un generador eléctrico con las siguientes características dadas por el fabricante:

- Potencia: 2 KW
- Voltaje de salida: 110 V
- Combustible: GLP (0.45 Kg/hora)

Este equipo se encuentra en la capacidad de cubrir por cinco horas al día la demanda energía eléctrica de la finca, el mismo que consume 0.45 Kg de GLP (1 m<sup>3</sup> de biogás) por hora lo cual significa que los 5 m<sup>3</sup> de biogás/diario serviría para la producción de electricidad por cinco horas diarias.

#### II) Cantidad de estiércol requerido (CE):

Para calcular la cantidad de estiércol que se necesita producir 5 m<sup>3</sup> diarios de biogás, se hará uso de la siguiente tabla sobre la producción de biogás a través del estiércol del ganado vacuno.

Tabla 4. Datos básicos de diseño – biogás de estiércol de ganado vacuno

1 Kg de Estiércol Fresco (EF) = 0.20 Kg de Sólidos Totales (ST)
1 Kg de Sólidos Totales (ST) = 0.8 Kg de Sólidos Volátiles (SV)
1 Kg de Sólidos Totales (ST) = 0.3 m <sup>3</sup> de Biogás @ (35°C y Pr. Atm.)
1 Kg de Sólidos Totales (ST) = 0.25 m <sup>3</sup> de Biogás @ (30°C y Pr. Atm.)
1 Kg de Sólidos Totales (ST) = 0.2 m <sup>3</sup> de Biogás @ (25°C y Pr. Atm.)
1 Kg de Sólidos Totales (ST) = 0.16 m <sup>3</sup> de Biogás @ (22°C y Pr. Atm.)
1 Kg de Sólidos Totales (ST) = 0.10 m <sup>3</sup> de Biogás @ (18°C y Pr. Atm.)

De la tabla anterior se tomaron dos valores que son; el primero la equivalencia de 1 Kg de estiércol fresco a sólidos totales y el segundo es el valor correspondiente a la temperatura media del recinto que es 22 °C:

1 Kg de Estiércol Fresco (EF) = 0.20 Kg de Sólidos Totales (ST)
1 Kg de Sólidos Totales (ST) = 0.16 m <sup>3</sup> de Biogás @ (22°C y Pr. Atm.)

A continuación se realizó el cálculo para encontrar la cantidad necesaria de materia prima para la producción de 5 m<sup>3</sup> diarios de biogás.

$$\text{Cantidad de Estiercol (CE)} = 5 \frac{\text{m}^3 \text{ Biogás}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ Kg EF}}{0.2 \text{ Kg ST}} \times \frac{1 \text{ Kg ST}}{0.16 \text{ m}^3 \text{ Biogás}}$$

$$\text{Cantidad de Estiercol (CE)} = 156.25 \text{ Kg EF / día}$$

Para alimentar al digestor se requiere una mezcla de estiércol más agua y se hizo con una relación de 1:1. Asumiendo que 1 Kg de EF = 1 Lt EF, entonces se tiene:

$$\text{Carga diaria (CD)} = \text{CE} + \text{Agua} = 156.25 \frac{\text{Kg EF}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ Lt}}{1 \text{ Kg}} + 156.25 \frac{\text{Lt}}{\text{día}}$$

$$\text{Carga diaria (CD)} = 312.5 \frac{\text{Lt de mezcla}}{\text{día}}$$

$$\text{Carga diaria (CD)} = 0.313 \text{ m}^3 \text{ de mezcla/día}$$

### III) Volumen de la cámara del digestor y dimensiones:

El tiempo de retención (TR) para una óptima producción es de 50 días, por lo tanto se obtuvo el volumen de la cámara del digestor (Vol. Dig.) para la producción máxima de 5 m<sup>3</sup>:

$$\text{Vol. Dig.} = (\text{CD}) \times (\text{TR})$$

$$\text{Vol. Dig.} = (0.313 \text{ m}^3 / \text{día}) \times (50 \text{ días})$$

$$\text{Vol. Dig.} = 15.65 \text{ m}^3$$

El valor de la altura de la cámara del digestor (H), de poca producción de gas diaria, está entre 4.00 m a 4.80 m, por lo tanto se tomó el valor de 4.40 m para la altura de la cámara de este digestor.

$$H = 4.40 \text{ m}$$

Como la cámara del digestor es de forma cilíndrica, entonces se encontró el respectivo valor del diámetro del digestor (D).

$$D = ?$$

$$\text{Vol. Dig.} = \text{Vol. Cil.}$$

$$\text{Vol. Cil.} = \frac{\pi \times (\text{diámetro})^2}{4} \times (\text{altura}) [\text{m}^3]$$

$$15.65 \text{ m}^3 = \frac{\pi \times (D)^2}{4} \times (4.40 \text{ m})$$

$$D = 2.10 \text{ m}$$

### IV) Dimensiones del gasómetro:

El gasómetro que se encuentra en la parte superior de la cámara del digestor tiene una forma cilíndrica con un diámetro menor a la cámara del digestor con el objeto de deslizarse en forma vertical, dependiendo de la presión del gas.

Para facilitar el deslizamiento vertical del gasómetro se consideró un diámetro (d) de 15 cm menos que el diámetro de la cámara del digestor, el valor fue 1.95 m y con este valor se obtendrá la altura lateral (hl) del gasómetro pero considerando que el volumen del gasómetro debe almacenar entre 60 y 70% del volumen de la producción diaria de biogás (CG).

$$d = D - 15 \text{ cm}$$

$$d = 1.95 \text{ m}$$

Entonces la altura lateral del gasómetro tomando el 70% del volumen de la producción diaria de biogás fue de:

$$hl = ?$$

$$\text{Vol. Gasómetro} = (70\%) \times (\text{CG}) [\text{m}^3]$$

$$\text{Vol. Gasómetro} = (0.7) \times (5 \text{ m}^3)$$

$$\text{Vol. Gasómetro} = 3.5 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Gasómetro} = \frac{\pi \times (\text{diámetro})^2}{4} \times (\text{altura lateral}) [\text{m}^3]$$

$$3.5 \text{ m}^3 = \frac{\pi \times (1.95 \text{ m})^2}{4} \times (hl)$$

$$hl = 1.20 \text{ m}$$

El gasómetro para su funcionamiento también cuenta con una altura central (hc) la misma que debe ser 10 cm más larga que la altura lateral:

$$hc = hl + 10 \text{ cm}$$

$$hc = 1.30 \text{ m}$$

Las demás dimensiones del biodigestor completo como la cañería de entrada y salida, cámara de carga y descarga, son presentadas en las siguientes figuras:

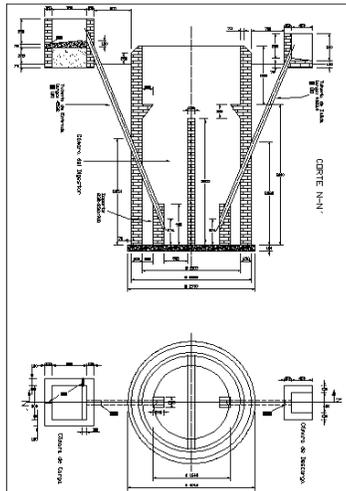


Figura 3. Curva esfuerzo-deformación

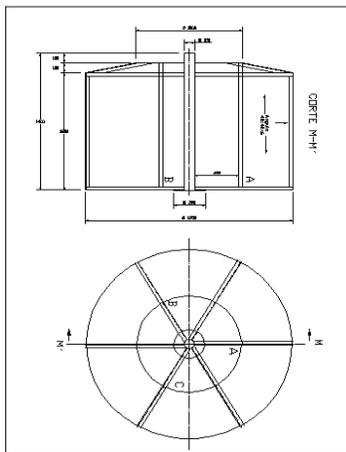


Figura 4. Curva esfuerzo-deformación

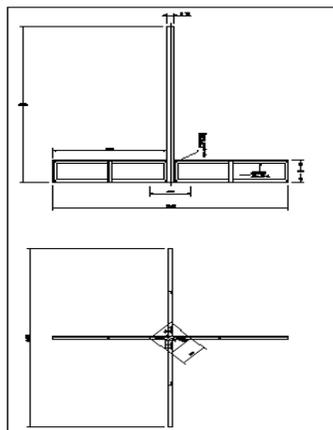


Figura 5. Curva esfuerzo-deformación

#### V) Producción de bioabono por día:

Durante la fermentación se pierde una fracción de sólidos totales que envuelven en gas. Esta fracción

depende de la producción específica de gas y está comprendido entre el 5 al 30% de sólidos totales.

Para el respectivo cálculo se tomó el 20 % de sólidos totales.

A continuación se determinó la cantidad de bioabono para 5 m<sup>3</sup> de biogás diario:

$$\text{Bioabono} = \text{Carga diaria (CD)} - (\text{Carga diaria (CD)}) \times \frac{(\%ST)}{100}$$

$$\text{Bioabono} = 312.5 \text{ Kg/día} - (312.5 \text{ Kg/día}) \times (0.2)$$

$$\text{Bioabono} = 250 \text{ Kg/día}$$

#### Cálculo de la Cantidad de Nutrientes Obtenido del Bioabono para 5 m<sup>3</sup> de biogás diario:

La cantidad de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) se obtuvieron de los datos de la siguiente tabla, con los valores del estiércol biodigerido.

Tabla 5. Elementos en el estiércol fresco y biodigerido

Elemento	Unidades	Estiércol Fresco	Estiércol Biodigerido
Nitrógeno (N)	%	1.36	0.8
Fósforo (P)	%	0.16	0.04
Potasio (K)	%	0.14	0.26
Magnesio (Mg)	%	0.15	0.04
Calcio (Ca)	%	0.43	0.08
Hierro (Fe)	mg/kg	435	72
Cobre (Cu)	mg/kg	11	4
Zinc (Zn)	mg/kg	28	6

$$\text{Nitrógeno (N)} = (0.8\%) \times (CE) = (0.008) \times (156)$$

$$\text{Nitrógeno (N)} = 1.248 \text{ Kg/día}$$

$$\text{Nitrógeno (N)} = 456 \text{ Kg/año}$$

$$\text{Fósforo (P)} = (0.04\%) \times (CE) = (0.0004) \times (156)$$

$$\text{Fósforo (P)} = 0.0624 \text{ Kg/día}$$

$$\text{Fósforo (P)} = 23 \text{ Kg/año}$$

$$\text{Potasio (K)} = (0.26\%) \times (CE) = (0.0026) \times (156)$$

$$\text{Potasio (K)} = 0.405 \text{ Kg/día}$$

$$\text{Potasio (K)} = 148 \text{ Kg/año}$$

Se tomó en consideración que por cada hectárea de terreno se aplica alrededor de 75 Kg de urea (37.5 Kg de N), y como existe 14 hectáreas aplicadas a la agricultura esto significa que con 456 Kg N se estaría reemplazando en un 86% el uso anual de fertilizante químico.

#### 6. Análisis económico

Se debe tener en cuenta que para montar un biodigestor, los costos depende básicamente de la tecnología que se use en el, así como también de los

requerimientos de producción, teniendo presente que la implementación de un biodigestor no constituye un gasto, sino una inversión que traerá a mediano y largo plazo grandes beneficios económicos y ambientales a la finca y al recinto.

Los costos de los materiales se basaron en precios de nuestro medio.

**Tabla 6.** Inversión inicial

DESCRIPCIÓN	VALOR (\$)
COSTOS DE MATERIALES Y EQUIPOS	1,897
COSTOS DE MANO DE OBRA	280
<b>TOTAL (\$)</b>	<b>2,177</b>

Los beneficios directos del uso de la biodigestión pueden ser estimados en base al uso del biogás, como una fuente alternativa a energías no renovables, y a la aplicación del efluente como una sustitución de nutrientes aportados por fertilizantes químicos.

El valor comercial del biogás como fuente de energía será estimado en su equivalente en valor energético de un combustible fósil que puede ser reemplazado por el uso de biogás. Un combustible comúnmente utilizado en zonas rurales es el diesel o también puede ser el GLP.

El valor neto en calorías de 1 m<sup>3</sup> de biogás equivale a la energía emitida por la combustión de 0.55 litros de diesel. Así, la producción anual es de 1,825 m<sup>3</sup> de biogás (5 m<sup>3</sup> / día) equivale a 1,004 Lt de diesel respectivamente. El valor comercial de un litro de diesel en Ecuador es de US\$ 0.30. Calculando la cantidad de biogás por su equivalente energético en diesel por su valor comercial, los beneficios directos derivados de la combustión de biogás ascienden a US\$ 301.2.

Referente al valor económico del efluente, el precio por nutriente es calculado en base al valor comercial por kilo de cada nutriente de los fertilizantes químicos. El valor económico anual del efluente se obtiene mediante el análisis del contenido nutricional del material, multiplicado por el precio comercial por kilo de nutrientes como N (Urea al 50% de N), P (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y K (K<sub>2</sub>O). Los valores comerciales de estos productos son; US\$ 25 los 50 kg Urea, US\$ 50 los 50 kg P y US\$ 50 por el contenido de 50 kg de K, para una producción anual de 1,825 m<sup>3</sup> de biogás (5 m<sup>3</sup> / día) se obtiene 456 Kg de N con un valor de US\$ 456, 23 Kg de P con un valor de US\$ 23 y 148 Kg de K con un valor de US\$ 148[7].

**Tabla 7.** Beneficios directos de la aplicación del biodigestor

BENEFICIOS	VALOR
<b>A.- Biogás como fuente de energía</b>	
a. Producción neta anual de biogás (m <sup>3</sup> /año)	1825
b. Equivalente neto a la combustión de combustible fósil (Lt de diesel)	1004
c. Precio comercial por unidad de combustible fósil (US\$/Lt)	0.3
d. Ahorro total anual por el uso de biogás (b * c) US\$	<b>301.2</b>
<b>B. Efluente como fertilizante</b>	
e. Nitrógeno (US\$ /año)	456
f. Fósforo (US\$ /año)	23
g. Potasio (US\$ /año)	148
h. Ahorro total anual por el uso del efluente (e + f + g) (US\$)	<b>627</b>
<b>C. Beneficios directos totales al año (d + h) (US\$)</b>	<b>928.2</b>

Los Beneficios Económicos Totales para el biodigestor se estimaron para un período de 20 años. Es importante recalcar que se consideró un descuento anual del 5 % en la ecuación de interés compuesto para encontrar el valor futuro. El descuento es una técnica aplicada para evaluar proyectos cuyos costos y beneficios varían a través del tiempo.

**Tabla 8.** Beneficios económicos totales (us\$) de 5 m<sup>3</sup> biogás diarios

Beneficios	Años						
	0	1	2	5	10	15	20
Valor Biogás	301.2	316.2	332.0	348.4	490.6	626.1	799.1
Valor de efluente	627.0	668.3	691.2	800.2	1021.3	1303.4	1663.6
<b>Beneficios Totales (US\$)</b>	<b>928.2</b>	<b>974.6</b>	<b>1,023.3</b>	<b>1,184.6</b>	<b>1,511.9</b>	<b>1,929.6</b>	<b>2,462.7</b>
<b>COSTOS</b>							
Materiales y Equipos	1,897.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mano de Obra	280.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Costos Totales (US\$)</b>	<b>2,177.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>Beneficios Netos por año (US\$)</b>	<b>- 1,248.8</b>	<b>974.6</b>	<b>1,023.3</b>	<b>1,184.6</b>	<b>1,511.9</b>	<b>1,929.6</b>	<b>2,462.7</b>

Estas tablas muestran los diversos beneficios a través de los años de la tecnología de la biodigestión y pueden sugerir su implementación como fuente de combustible y bioabono.

## 7. Agradecimientos

A Dios, a mis padres, a mi director de tesis el Ing. Ernesto Martínez Lozano, a mi tío Amado Mantilla y su familia, y a las personas que colaboraron de una u otra forma en el desarrollo de esta tesis.

## 8. Referencias

- [1] Panel on Methane Generation, Methane Generation from Human, Animal and Agricultural wastes, Washington DC 1977.
- [2] Dirección de Energías Alternativas, Ministerio de Energía y Minas, Construcción y Mantenimiento de Biodigestores, Quito 1998.
- [3] Bonilla Javier, Producción de Electricidad con Biogás, Instituto Costarricense de Electricidad, Costa Rica 2005.
- [4] Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, Guidebook on Biogas Development, Energy Resources Development Series N°. 21, New York 1980.
- [5] Morgan Juan y López Jorge, Matriz de Decisión para la Selección de Tecnología Relacionada con el Tratamiento de aguas residuales, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
- [6] Larry J. Douglas, Third Annual Biomass Energy Systems Conference, Colorado – USA, 1979.
- [7] Aguilar F. y Botero R., Los Beneficios Económicos Totales de la Producción de Biogás Utilizando un Biodigestor de Polietileno de Bajo Costo, Universidad EARTH, Guácimo 2006.

## 9. Conclusión y resultados.

La producción estimada de 5 m<sup>3</sup> de Biogás por día, logra cumplir con el objetivo planteado inicialmente de cubrir el 35 % del consumo mensual de energía, dado que se conseguirá obtener una producción mensual que logre satisfacer el 64.3 % del consumo mensual de energía de la finca en estudio.

El valor de producción obtenido a través del diseño (5 m<sup>3</sup> biogás/día) sobrepasa al valor de producción inicialmente planteado en los resultados del proyecto (3 m<sup>3</sup> biogás/día), esto se debe a la disponibilidad de la materia prima en la finca y la posibilidad de cubrir en gran parte la demanda de energía de esta localidad.

Referente a la producción de bioabono se podrá obtener una producción anual de 456 Kg de N, 23 Kg de P y 148 Kg de K, lo cual significa que se podrá sustituir del 86% el uso anual de fertilizantes químicos e incluso con la aplicación del bioabono, no solo que contribuye a la mejora de las propiedades físicas y químicas del suelo, si no también a incrementar la biomasa microbiana, favoreciendo el desarrollo de las plantas.

En términos económicos los beneficios que presenta la utilización del biodigestor significa para la finca un ahorro en el primer año de US\$ 928.2 para una producción de 5 m<sup>3</sup> de biogás, considerando que en menos de tres años se podrá recuperar la inversión inicial.

Con respecto al diseño de los biodigestores es importante destacar la importancia que tiene la capacitación del personal en cuanto a la preparación de

la mezcla y operación del mismo, tomando siempre en consideración la proporción en la mezcla de estiércol y agua, también se deberá considerar el factor económico que implica la capacitación de las personas a cargo del manejo del biodigestor y el gasto que se realizará por la reparación parcial o total del gasómetro a lo largo de la vida útil del biodigestor.