

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

**Facultad de Ingeniería**

**Estudio de factibilidad en el uso de biodigestores  
para la producción de gas metano y reducción  
del consumo eléctrico en una finca dedicada a  
salinas y ganado**

**Trabajo de graduación presentado por**

**Jessica Victoria Cordero Molina**

**para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería  
Industrial**

**Guatemala**

**2011**



**Estudio de factibilidad en el uso de biodigestores  
para la producción de gas metano y reducción  
del consumo eléctrico en una finca dedicada a  
salinas y ganado**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

**Facultad de Ingeniería**

**Estudio de factibilidad en el uso de biodigestores  
para la producción de gas metano y reducción  
del consumo eléctrico en una finca dedicada a  
salinas y ganado**

**Trabajo de graduación presentado por**

**Jessica Victoria Cordero Molina**

**para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería  
Industrial**

**Guatemala**

**2011**

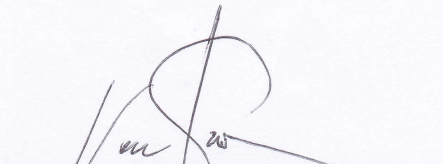
Vo.Bo. Asesor



---

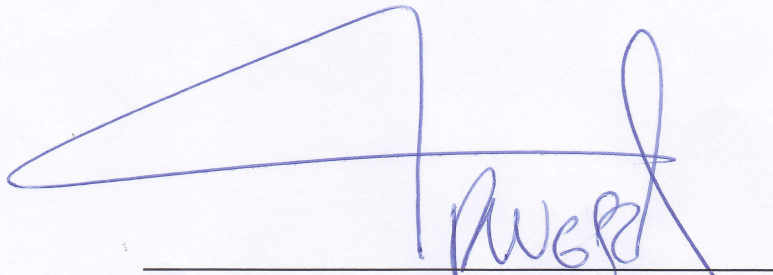
Ing. Vivian Sigüenza

Vo.Bo. Terna Examinadora




---

Ing. Vivian Sigüenza  
(ASESOR)



---

Lic. Irving Sigüenza



---

Lic. Raúl Dacaret

Fecha de aprobación

Guatemala, 14 de junio 2011

## CONTENIDO

	Página
LISTA DE TABLAS .....	v
LISTA DE GRÁFICOS .....	vi
LISTA DIAGRAMAS .....	vii
LISTA DE ILUSTRACIONES.....	viii
RESUMEN .....	ix
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. JUSTIFICACIÓN .....	2
III. OBJETIVOS .....	3
IV. ANTECEDENTES DE LA FINCA .....	4
A. Información general a la finca .....	4
B. Mapa de distribución de la finca .....	5
C. Diagrama de procesos de operación (DOP).....	6
D. Descripción estado actual de la finca.....	8
1. Medios para generar energía .....	8
2. Demanda energética .....	9
V. MARCO TEÓRICO.....	10
A. Energía .....	10
1. Generación de energía eléctrica .....	10
2. Funcionamiento del mercado de energía eléctrica en Guatemala .....	10
3. Comportamiento de los combustibles fósiles .....	11
4. Comportamiento de la energía eléctrica .....	13
B. Energía renovable .....	14
1. Biomasa y biogás .....	14

a. Gas metano.....	15
C. Biodigestores.....	16
1. ¿Qué es un biodigestor?.....	16
2. Componentes del proceso de digestión anaeróbica .....	18
3. Ventajas.....	20
4. Tipo de biodigestores .....	20
D. Digestión anaeróbica.....	24
1. Características de la materia orgánica.....	25
2. Fermentación metánica .....	26
3. DQO (demanda química de oxígeno) y DBO (Demanda bioquímica de oxígeno).....	27
4. COV (Carga orgánica volumétrica).....	27
5. TRH (Tiempos de retención hidráulica) .....	28
 VI. MARCO PRÁCTICO .....	 29
A. Planta para producción de gas metano.....	29
1. Procedimiento para dimensionar el biodigestor.....	29
a. Estimar la cantidad de influentes o mezcla a generarse diariamente. ....	29
b. Calcular los kg de DQO que entran diariamente .....	31
c. TAO (Tasa de alimentación orgánica).....	32
d. Estimar el volumen del biodigestor .....	33
e. Estimar el TRH (Tiempo de retención hidráulico .....	33
B. Funcionamiento general de la planta .....	34
C. Diseño de la planta.....	35
1. Ubicación.....	35
2. Área de carga de influentes y mezclador.....	36
3. Sistemas de transporte y alimentación.....	37
4. Reactor digestor .....	37
5. Diseño de la laguna.....	37
a. Construcción de la laguna.....	38
6. Área de descarga de lodos.....	43

7. Bomba de recirculación .....	43
8. Tuberías.....	44
9. Sistema de purificación del gas.....	44
10. Sistemas de medición.....	44
a. Analizador de gas .....	44
b. Medidor de flujo.....	45
c. Medidor de presión .....	45
11. Generación de energía.....	45
D. Producción energética de la planta .....	46
E. Sistemas de seguridad .....	48
1. Apaga llamas.....	48
2. Antorcha.....	48
F. Diagramas .....	49
1. DOP de la planta ( Diagrama de operaciones del proceso) .....	49
2. Diagrama de flujo de planta.....	51
G. Ley en energías renovables .....	51
1. Incentivos para proyectos de energías renovables .....	51
H. Impacto ambiental y social .....	52
1. Gases de efecto invernadero .....	52
2. El ganado y su contribución con gases efecto invernadero .....	53
3. Biogás una solución amigable .....	53
4. Impacto social .....	54
I. Operación.....	54
1. Monitoreo.....	55
2. Mantenimiento .....	55
3. Número de trabajadores .....	55
 VII. DETERMINACIÓN DE COSTOS.....	 56
A. Inversión inicial .....	56
B. Ahorro y pérdidas de energía eléctrica con la planta.....	57
C. Costos de operación .....	60
 VIII. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD .....	 62

A.	Cálculo de flujo de efectivo .....	62
B.	TMAR (tasa mínima atractiva de retorno).....	64
C.	Evaluación del proyecto.....	64
1.	El criterio de la TIR .....	64
2.	Los criterios PRI y VPN .....	65
IX.	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD .....	67
X.	CONCLUSIONES .....	68
XI.	RECOMENDACIONES.....	70
XII.	BIBLIOGRAFÍA .....	71
XIII.	ANEXOS .....	73

## LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1. Demanda energética en la finca .....	9
2. Total de consumo eléctrico en casa patronal .....	9
3. Precio de diesel en Guatemala .....	9
4. Propiedades del gas metano .....	15
5. Características de tipo de biodigestores .....	22
6. Cantidad de excreta diaria.....	30
7. Consumo de agua en l lavado .....	31
8. DQO (demanda química de oxígeno) .....	32
9. TAO (tasa de alimentación orgánica) .....	32
10. Volumen de biogás producido .....	33
11. Volumen del biodigestor.....	33
12. TRH (tiempo de retención hidráulico).....	34
13. Datos para el cálculo de potencia.....	46
14. Generación de energía eléctrica .....	47
15. Operadores .....	55
16. Inversión inicial .....	56
17. Ahorro anual por producción con planta de biogás .....	59
18. Perdida por falta de consumo.....	59
19. Costos de operación .....	60
20. Tasa de inflación .....	61
21. Total de consumo energético .....	62
22. Utilidad neta.....	63
23. Flujo de efectivo neto.....	63
24. TIR .....	65
25. Evaluación del proyecto con VPN y PRI.....	66

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfica	Página
1. Demanda verano e invierno .....	9
2. Distribución de la generación eléctrica en Guatemala.....	10
3. Tendencia del precio del petróleo .....	12
4. Curva de precios del barril de petróleo 2010.....	13
5. Precio del kWh y la variación con el combustible.....	14
6. Demanda diaria kWh en verano e invierno.....	58
7. Análisis de flujo y tasa de interés .....	67

## LISTA DE DIAGRAMAS

Diagrama	Página
1. Proceso de elaboración de sal .....	6
2. Proceso de ordeño .....	7
3. Beneficios del proceso .....	35
4. DOP planta de biogás.....	49

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración	Página
1. Mapa de distribución de la finca.....	5
2. Elementos que componen un biodigestor .....	17
3. Biodigestor tipo hindú.....	21
4. Biodigestor tipo chino.....	22
5. El propósito de la biodigestión anaeróbica .....	35
6. Ubicación de la planta dentro de la finca.....	36
7. Preparación del terreno .....	38
8. Preparación para corte de zanja .....	38
9. Excavación.....	39
10. Formación del embalse .....	39
11. Preparación de tuberías .....	39
12. Cavidades para tuberías .....	40
13. Forro de la superficie .....	40
14. Forro de las orillas .....	41
15. Tuberías dentro del embalse .....	41
16. Llenado .....	41
17. Instalación de cubierta .....	42
18. Unión de forros .....	42
19. Soporte.....	43
20. Bomba de recirculación .....	43
21. Tubería de PVC alta densidad.....	44
22. Filtro de biogás .....	44
23. Analizador de gas.....	45
24. Medidor de flujo .....	45
25. Medidor de presión .....	45
26. Moto generador.....	46
27. Apaga llamas.....	48
28. Antorcha.....	48
29. Diagrama de flujo de planta.....	51

## RESUMEN

El proyecto que se realizó se llama *Estudio de factibilidad en el uso de biodigestores para la producción de gas metano y reducción del consumo eléctrico en una finca dedicada a salinas y ganado*. El principal motivo para realizar este proyecto es el poder reducir el consumo de energía eléctrica con la ayuda de biodigestores para la producción de gas metano.

Con la elaboración del proyecto se buscó, principalmente, sustituir un porcentaje de energía eléctrica por biogás (gas metano) para tener ahorros en los costos de energía. También se determinó un diseño de la planta de biodigestores y se evaluó el impacto para la sociedad y el ambiente.

En la actualidad, este tipo de proyectos son el resultado de la conciencia ambiental y económica que han tenido los empresarios e industrias enteras. El plan es mantener un ambiente limpio, sin contaminación y reemplazar las energías no renovables con las energías renovables.

Por el lado económico, se pretende reducir los costos fijos para luego reducir los costos de producción y ampliar el margen de utilidad. Los inversionistas involucrados en estos proyectos visionan la sustitución de la energía proporcionada por agentes externos por la que se genera con la planta de biogás.

## I. INTRODUCCIÓN

En el siguiente trabajo de graduación se muestra una planificación para la instalación de un sistema de energía renovable para la producción de electricidad en una finca dedicada al ganado y salinas.

El sistema que se analiza en la finca es un biodigestor de tipo membrana o también llamado de laguna cubierta. Este es un sistema fácil de manejar, de menor costo y mantenimiento que otros biodigestores, entre otros.

Los biodigestores son sistemas cerrados de forma impermeable, en donde se introduce material orgánico de cualquier tipo para la obtención de biogás. El producto principal de la planta, el biogás, está compuesto especialmente de gas metano y se utiliza para la alimentación de motores para la generación eléctrica renovable. Es un sistema en donde no solo se aprovechan los gases que emana la materia en descomposición, sino que también se usa la materia sólida descompuesta como biofertilizante.

En el desarrollo del trabajo se incluye el dimensionamiento de un digestor, un procedimiento para la complementación de la estructura, los materiales que se deben utilizar en cada una de las etapas que la conforman y medidas de seguridad. Se plantearon varios beneficios que puede gozar un proyecto de esta índole en Guatemala y un modelo de operación del biodigestor al ponerlo en marcha.

La investigación incluye un análisis financiero del proyecto para ver sus ahorros y costos anuales. También se realizaron evaluaciones para determinar la rentabilidad de la instalación de la planta y la operación de la misma.

Finalmente, se desarrollaron las conclusiones del trabajo basadas en los objetivos establecidos en la propuesta del trabajo. Luego se plantearon las recomendaciones que se deben de tomar en cuenta para implementar el proyecto.

## II. JUSTIFICACIÓN

Actualmente en la finca se encuentran los procesos optimizados, por lo que el ahorro de energía eléctrica se usa de la mejor manera según las necesidades. Es por eso que se desea evaluar alguna alternativa de tipo renovable que ayude a bajar el consumo eléctrico.

En la investigación se evaluará la introducción de biodigestores para producir biogás. Debido a que esta alternativa es una fuente de energía renovable y la producción de biogás se hace mayormente con materia prima de la finca, se evaluará la sustitución de un porcentaje de energía eléctrica.

En los últimos años los combustibles fósiles, con lo cual se genera la mayor parte de energía de país, ha incrementado y no se ven indicios que haya tendencia a la baja. Esto se debe a que son productos o subproductos del petróleo de fuentes no renovables y por ende caras de extraer.

El problema en los efectos de un incremento en el barril de petróleo causa grandes presiones económicas. Esto es debido al impacto negativo en el precio de los productos complementarios y otros productos de primera necesidad.

La mejor manera de solucionar este problema es la implementación de energía renovable para la generación de electricidad. Los biodigestores son una buena opción para fincas ganaderas ya que los desechos sólidos de los animales no tienen un fin específico.

El patrón de decisión que se seguirá será siempre satisfaciendo la rentabilidad requerida por la empresa.

### **III. OBJETIVOS**

#### **A. GENERALES**

Determinar la factibilidad del uso de biodigestores para la producción de gas metano y reducción del consumo eléctrico en una finca dedicada a salinas y ganado

#### **A. ESPECÍFICOS**

1. Determinar el diseño de biodigestores a utilizar en el proyecto
2. Elaborar un plan para determinar los desechos agrícolas y animales que se utilizarán como insumos para la producción de gas metano
3. Determinar la inversión y ahorro del proyecto
4. Encontrar el plazo mínimo en el que se recupera la inversión
5. Establecer el impacto ambiental y social que causará el proyecto en la finca

## IV. ANTECEDENTES DE LA FINCA

### A. Información general de la finca

La finca dedicada a ganadería y salinas en donde se realizará el estudio de factibilidad se encuentra ubicada en Sipacate, Escuintla. Se encuentra situada frente a una playa de la Costa Pacífica, a unos 140 kilómetros de la ciudad capital y de Antigua Guatemala.

Cuenta con un territorio aproximado 18 mil metros cuadrados de los cuales 5500 metros cuadrados se utilizan para la cría de ganado y producción lechera y 2000 se utilizan para la producción de sal. En el territorio restante se encuentra una casa patronal, oficinas administrativas, un rastro, un taller y un pequeño criadero de cerdos y pelibueyes.

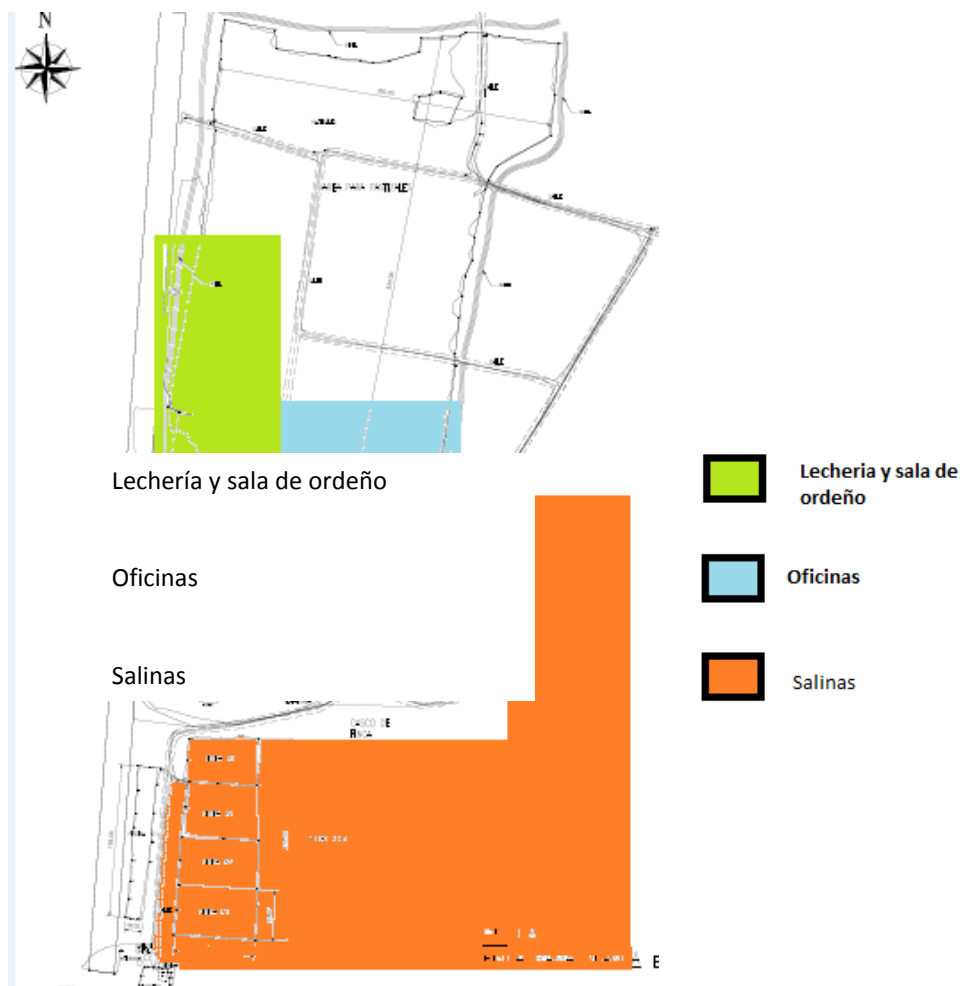
El ganado de cría son búfalos de agua de la especie *Bubalus bubalis* originarios del sudeste asiático. Se alimentan de pasto y harinas, y producen aproximadamente el 10% de 100 kg de peso vivo de excreta. Esto quiere decir que si un búfalo pesa 455 kg produce 45 kg de excreta diarias. El porcentaje puede variar según la alimentación, la especie de ganado, la dieta y digestibilidad, el contenido de proteína y fibra, y la edad del animal. Por ejemplo, mientras más fibra consume el animal se requiere más tiempo para trabajarlo como biomasa.

El búfalo es un animal de triple propósito, esto se debe a que provee leche que rinde para subproductos, carne con menos colesterol y menos grasa que la carne bovina y además se puede usar como transporte al cargar hasta 6 quintales de peso sobre el lomo sin ningún problema.

A pesar de ser peligroso en estado salvaje, es un animal muy dócil y fácil de domesticar. Incluso el búfalo doméstico necesita sumergirse parcialmente en áreas encharcadas o pantanosas para mantener su cuerpo a temperatura ambiente, esto es por la escasa capacidad de transpiración que tienen. Actualmente la finca cuenta con 537 cabezas de ganado, 30 cerdos, 25 pelibueyes.

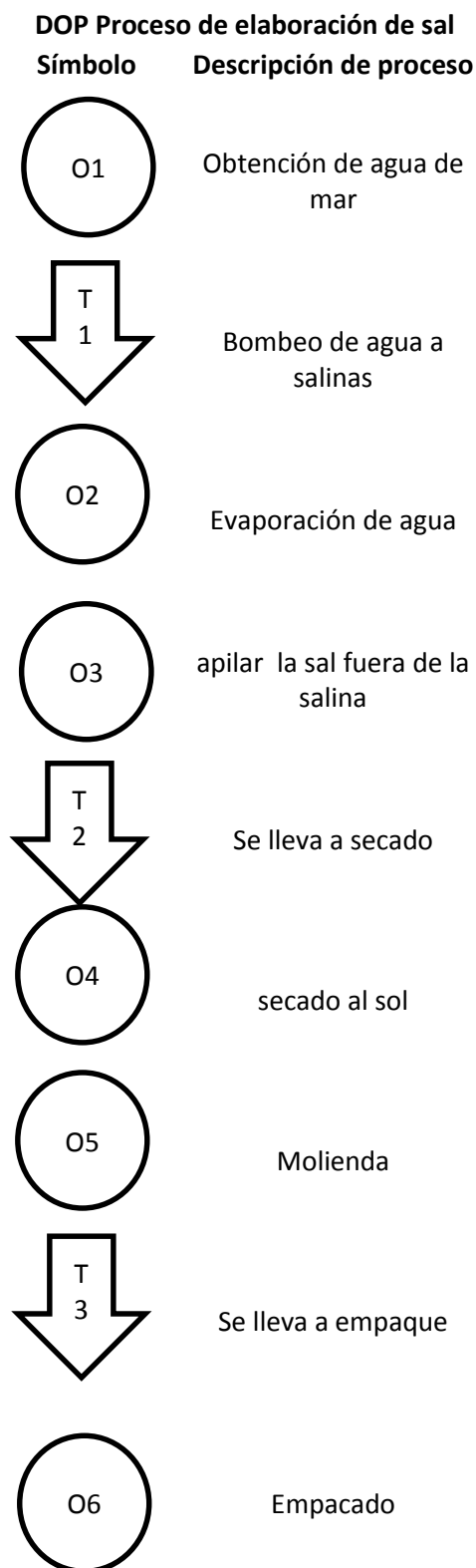
## B. Mapa de distribución de la finca

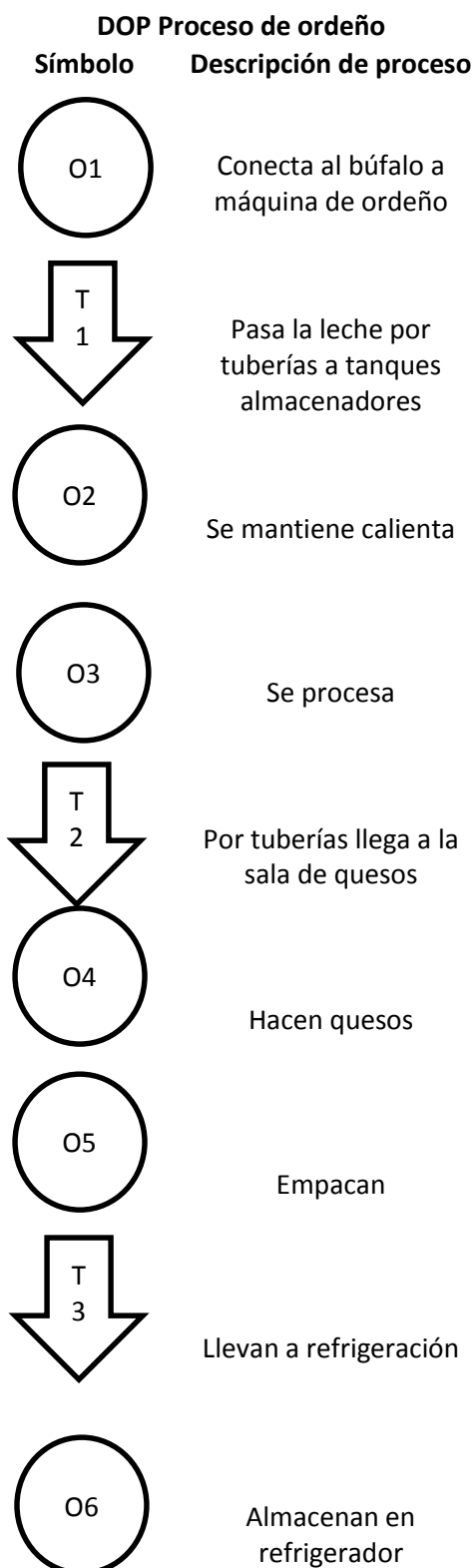
Ilustración # 1: Mapa de distribución de la finca



### C. Diagrama de procesos de operación (DOP)

**Diagrama # 1: Proceso de elaboración de sal**



**Diagrama #2: Proceso de ordeño**

## **D. Descripción del estado actual de la finca**

**1. Medios para generar energía.** En la finca se encuentran los procesos optimizados, por lo que el ahorro de energía eléctrica se usa de la mejor manera según las necesidades.

Para la obtención energía eléctrica actualmente se tienen dos métodos, motores diesel o la empresa eléctrica de Guatemala. Estos métodos varían según el área con la que se esté trabajando.

A continuación se listan y describen las distintas áreas de la finca y sus respectivas fuentes de energía:

### Área de salinas

- 3 motores diesel que hacen funcionar 6 bombas de agua. Estos motores consumen aproximadamente 15 galones diarios de diesel y se utilizan solo los meses de verano (alrededor de 6 meses)
- 3 motores diesel que hace funcionar 3 molinos. Estos motores consumen de 7 a 8 galones diarios y muelen 200 quintales de sal por hora.

### Área de ganadería (lechería)

- Se usa electricidad para el área de ordeño.
- En las estufas utilizan tambos de 30 libras. Se consumen 2 tambos por mes y se usan 4 horas diarias.
- En la bomba de riego a potreros se usa un motor diesel que consume 10 galones diarios.

### Área administrativa y otras

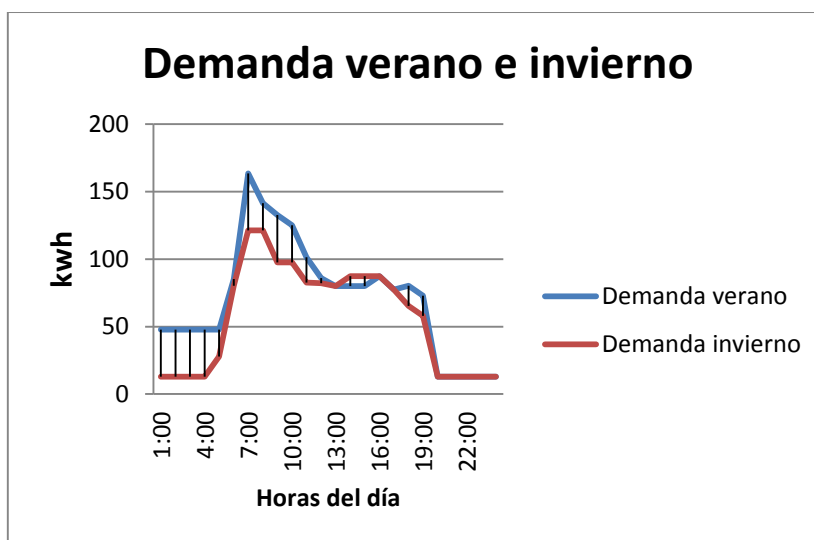
- Se utiliza solamente electricidad que proviene de la empresa eléctrica.

## 2. Demanda energética

**Tabla # 1: Demanda energética en la finca**

Demanda energética en la finca				
Área	Fuente	Combustible	Demanda	Unidades
Salinas	Motor 1	diesel	15	galones/día por 150 días al año
	Motor 2	diesel	15	
	Motor 3	diesel	15	
	Motor 4	diesel	7	
	Motor 5	diesel	7	
	Motor 6	diesel	7	
Ganadería	Empresa eléctrica ver gráfica de consumo energético eléctrico			
	tambos de gas	gas	30	libras / mes
	tambos de gas	gas	30	libras / mes
	Motor 7	diesel	10	galones/día
Administrativa	Empresa eléctrica ver gráfica de consumo energético eléctrico			
Casa patronal	Empresa eléctrica ver tabla de consumo energético eléctrico			

**Gráfico #1: Demanda verano e invierno**



**Tabla # 2: Total de consumos eléctrico en casa patronal**

<b>Demanda de casa patronal anual</b>
16000 kWh

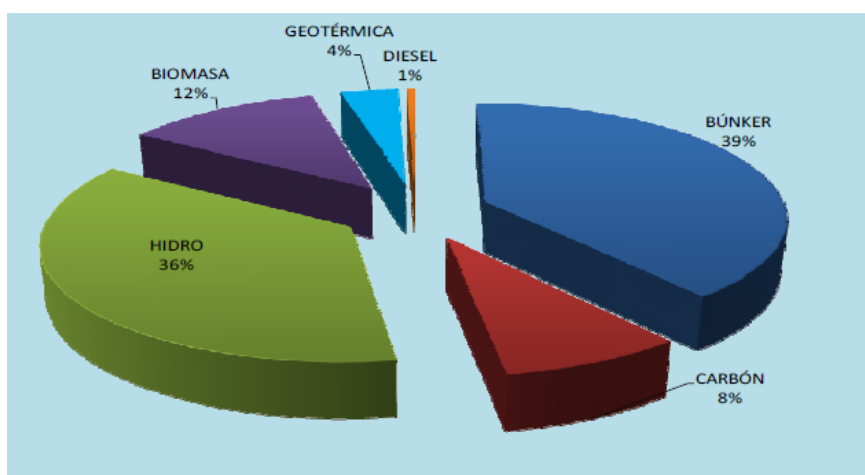
## V. MARCO TEÓRICO

### A. Energía

**1. Generación de energía eléctrica.** En términos sencillos, la generación eléctrica se da por medio de la rotación de una turbina y la producción de electricidad por medio de un generador. Al hacer girar la turbina la energía mecánica se transforma en energía rotativa que llegará al generador para convertirla en energía eléctrica. Las fuente de donde proviene los medios para hacer girar la turbina son de las plantas hidroeléctricas, térmicas o fósiles, geotérmica, solar y biomasa, nuclear y eólica.

En Guatemala la capacidad instalada de energía eléctrica que se tiene es de aproximadamente 8276GWh<sup>1</sup>. Distribuida por energías renovables y no renovables.

**Gráfico #2: Distribución de la generación eléctrica en Guatemala**



**2. Funcionamiento del mercado de energía eléctrica en Guatemala.** En 1996, en el ámbito eléctrico, empieza la libre prestación de servicios siguiendo siempre el modelo de mercado de bajo costos. A raíz de esto se reforma el marco regulatorio, introduciendo la separación de funciones del mercado oferente (generación, distribución, transporte y comercialización) y la libertad de barreras de entrada y de salida para lograr un mercado competitivo.

<sup>1</sup> Medina, Manolo. *Mercado mayorista de electricidad. Operación del sistema* <http://www.amm.org.gt/>

El marco legal del sector de energía eléctrica se conforma primero por la ley general de electricidad (LGE) seguido por el reglamento de LGE y el reglamento del AMM y por último las normas técnicas y operativas de cada uno.

Las instituciones encargadas de la organización y cumplimiento de las leyes nombradas anteriormente son el ministerio de energía y minas (MEM), la comisión nacional de energía eléctrica (CNEE) y el administrador de mercado mayorista (AMM). A grandes rasgos, la tarea de cada uno de ellos se divide de esta manera

- MEM se encarga de hacer política, planes de estado y aplica la LGE y el reglamento de LGE
- CNEE impone sanciones, protege derechos de usuarios, define tarifas y emite normas técnicas
- AMM coordina la operación de interconexiones al mínimo costo, establece precio de mercado (precios spot) a corto plazo y garantiza seguridad y abastecimiento de energía.

Cada uno de estas instituciones hace cumplir sus partes para tener controlado y en buen funcionamiento a los agentes que participan en el mercado eléctrico. Estos agentes son los generadores, transportistas, distribuidores, comercializadores y grandes usuarios.

Los productos y servicios que cada agente proporciona (dependiendo de cuales sean sus funciones) se operan de distinta forma. La compra y la venta de energía, potencia, servicios de transmisión y otros servicios complementarios se pueden operar mediante mercado a término, mercado de oportunidad y mercado de transacciones.

**3. Comportamiento de los combustibles fósiles.** El petróleo crudo es una mezcla de compuestos orgánicos de origen fósil. Es un recurso natural no renovable de donde se derivan los combustibles usados para generar energía eléctrica. Actualmente, en Guatemala, es la fuente principal para la producción eléctrica.

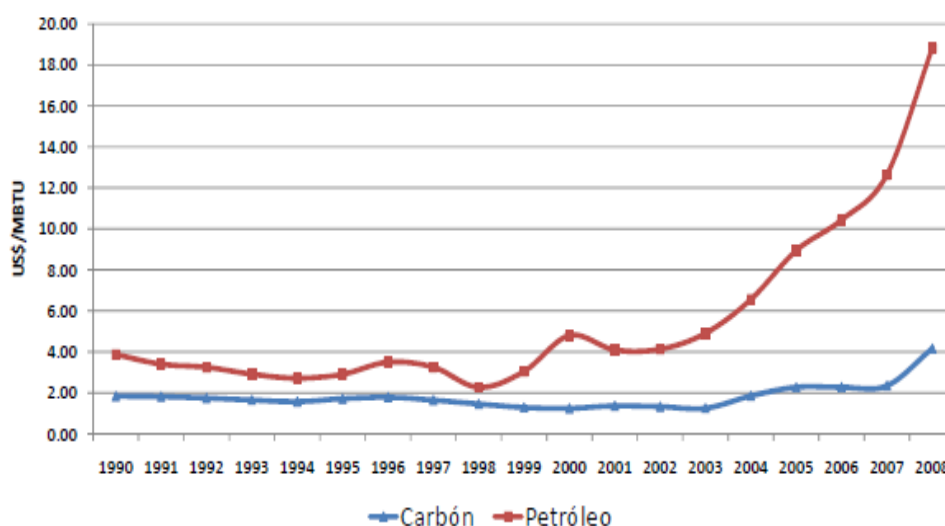
Algunas de las causas principales que explican la inestabilidad e incremento del precio del petróleo son la gran demanda entre los países industrializados, la

expectativa del agotamiento de la producción petrolera, la falta de nuevos métodos para producir energía, guerras en países petroleros, entre otros.

Los efectos de un incremento en el barril de petróleo causa grandes presiones económicas. Esto es debido al impacto negativo en el precio de los productos complementarios y otros productos de primera necesidad.

El petróleo, por lo mencionado anteriormente, tiene una tendencia al alza. Esto se puede comprobar con el comportamiento histórico que ha tenido a través de los años (ver Ilustración # 3).

**Gráfico # 3: Tendencia del precio del petróleo**



Los precios del año 2010 y 2011 tampoco muestran una disminución pronunciada en la tendencia de la curva, por lo mismo los productos derivados continúan incrementando. Esto se muestra en las gráficas a continuación.

**Gráfico #4. Curva de precios del barril de petróleo 2010****Tabla #3: Precios de diésel en Guatemala**

DESCRIPCION	NICARAGUA	*COSTA RICA	**GUATEMALA	***SAN SALVADOR	**HONDURAS
<b>COMBUSTIBLES( GLS)</b>					
Gasolina Extra o Super	\$4.76	\$4.68	\$4.50	\$4.42	\$4.46
Gasolina Extra o Super con Desc.	\$4.04				
Gasolina Regular	\$4.56	\$4.56	\$4.43	\$4.24	\$4.21
Gasolina Regular con Desc.	\$3.84				
Diesel	\$4.36	\$4.09	\$4.14	\$4.09	\$3.97
Diesel con Desc.	\$3.46				
<b>GAS PROPANO (GLP)</b>					
10 LBS	\$5.58	\$7.10	\$6.42	\$5.78	\$5.22
25 Lbs	\$13.55	\$17.75	\$16.05	\$14.46	\$13.04
100 Lbs	\$62.33	\$70.99	\$64.18	\$57.83	\$52.16

\* Los precios de los combustibles en Costa Rica son conforme a la Gaceta No. 40, última actualización realizada al 25 de Febrero del 2011. ([www.recope.gob.or](http://www.recope.gob.or))

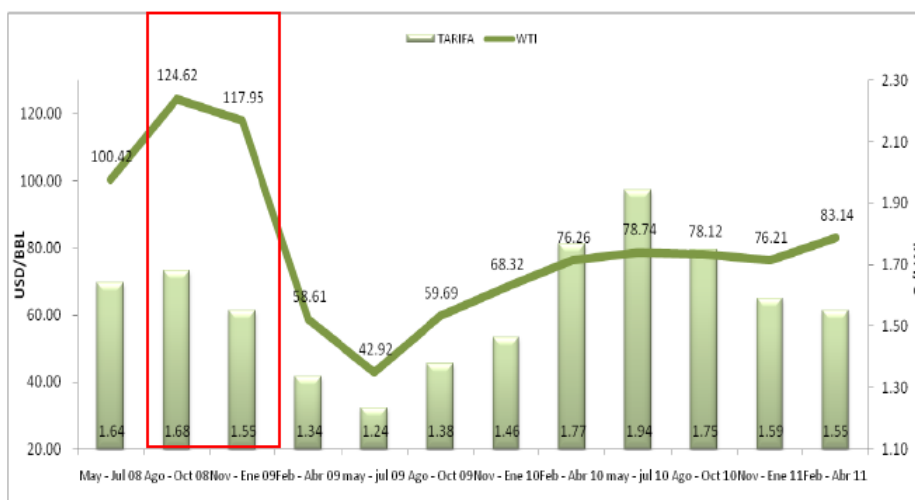
\*\* Los Precios de los combustibles en Guatemala y Honduras son conforme a la última actualización realizada la Dirección de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas de Guatemala al 14 de Marzo del 2011. ([www.mem.gt](http://www.mem.gt))

\*\*\* Los precios de los combustibles en El Salvador son conforme a la última actualización realizada por el Ministerio de Economía al 14 de Marzo del 2011 y publicada el 15-03-11 ([www.mineec.gob.sv](http://www.mineec.gob.sv)). EN LOS PRECIOS DEL GLP DEL SALVADOR SE INCLUYE SUBSIDIO DE 1.54 DOLARES/GALON

DOLAR OFICIAL NICARAGUA C\$ 22.1178

**4. Comportamiento de la energía eléctrica.** Debido a la íntima relación del petróleo con la generación de electricidad, la curva de precio spot de MWh ha seguido la misma tendencia de incremento.

**Gráfico #5: Precio del kWh y la variación con el combustible**



## B. Energía renovable

Se la llama energía renovable o energía verde, a las fuentes de energía que son de origen natural e inagotable. Es decir, las fuentes de energía que contienen un gran potencial para generar energía y algunas de estas poseen la capacidad de regenerarse de forma natural.

Actualmente, la energía renovable generada puede ser de tipo hídrica, térmica, biomasa, solar, eólica, geotérmica y mareomotriz.

**1. Biomasa y biogás.** La biomasa es la materia orgánica proveniente de origen vegetal y animal, y se considera la fuente de energía más antigua conocida por los humanos. Específicamente se obtiene a partir de árboles, plantas, desechos de animales, residuos agrícolas, residuos de aserradero y residuos urbanos.

En otras palabras, la energía producida por la biomasa es la que se obtiene de su propia sustancia. Es un tipo de energía renovable mediante la cual se procesan los materiales orgánicos de tal forma que produzcan un gas combustible llamado biogás y en donde además se tiene como subproducto el biofertilizante.

El gas producido, mejor conocido como biogás, se genera en el interior de un dispositivo herméticamente cerrado. Dentro de dicho dispositivo ocurren reacciones químicas que tienen como fin la biodegradación de la materia orgánica.

El producto resultante del gas se forma dependiendo de la biomasa utilizada, pero su composición básica se conforma por metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) e hidrógeno (H<sub>2</sub>).

**a. Gas metano.** El gas metano es un hidrocarburo que se produce en la naturaleza como producto final de la putrefacción anaeróbica de los desechos vegetales o animales. Es un gas de efecto invernadero no tóxico. Es inflamable en un rango de 5-15% de concentración en el aire.

Es un gas muy importante para la generación de energía eléctrica, ya que se usa como combustible en las turbinas de gas o en generadores. Es el componente mayoritario del biogás, en aproximadamente un rango de 60% a 70% en volumen. A continuación se mencionan algunos datos generales e importantes sobre el gas metano:

**Tabla #4: Propiedades del gas metano**

<b>PROPIEDADES DEL METANO</b>	
<b>Datos generales</b>	
Formula química	CH <sub>4</sub>
Peso atómico	16043 uma
Densidad	0.717kg/m <sup>3</sup>
<b>Cambios de fase</b>	
Punto de fusión	90,6 K (-182,5 °C)
Punto de ebullición	111,55 K (-161,6 °C)
Punto crítico	190,6 K (-82,6 °C) a 46 bar

### Continuación Tabla#4

Seguridad	
Efectos agudos	Asfixia; en algunos casos inconsciencia, ataque cardíaco o lesiones cerebrales. El compuesto se transporta como líquido criogénico. Su exposición causará obviamente la congelación.
Punto de inflamación	-188 °C
Temperatura de auto ignición	537 °C
Límite explosivos	5-15%

### C. Biodigestores

**1. ¿Qué es un biodigestor?** Los biodigestores son las instalaciones de donde se obtiene biogás a partir de biomasa. Son máquinas simples que convierten el material orgánico en subproductos aprovechables, como es el caso del abono y el metano. El principio detrás de estas instalaciones es el mismo que ocurre con la digestión humana, descomponen los alimentos en sustancias más simples para su absorción mediante la ayuda de bacterias que habitan el intestino en condiciones controladas de humedad, temperatura y acidez.

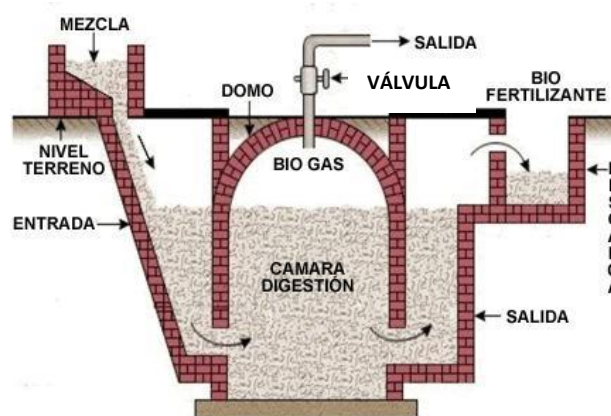
A simple vista, los biodigestores se ven como un gran contenedor, el cual está herméticamente cerrado. Dentro de este contenedor, en la cámara de carga o de entrada de efluente se deposita la mezcla de desechos orgánicos y agua. Luego, mediante un conducto largo se conectan los desechos orgánicos con el reactor digestor en donde las bacterias atacan a la materia orgánica y ocurre la fermentación para la producción de biogás. Por último está la cámara de descarga o salida de efluentes de donde sale

material para utilizarse como fertilizante orgánico, es rico en fósforo, potasio y nitrógeno.

El proceso de digestión se divide en dos partes, la fase ácida en donde se producen ácidos orgánicos mediante bacterias que pueden vivir en presencia de oxígeno y la fase metanogénica que es la etapa en la que se produce metano en ausencia de oxígeno mediante bacterias anaeróbicas.

En general, entre los componentes del proceso de la digestión anaeróbica se encuentran las válvulas y tuberías, entrada de influente, salida del efluente, tuberías de extracción de fangos, sistema de gas y el reactor digestor o cámara de digestión. A continuación se encuentra una imagen de los elementos que componen un biodigestor.

### Ilustración #2: Elementos que componen un biodigestor



El proceso de biodigestión existe debido a los microorganismos bacterianos anaeróbicos que se encuentran en los excrementos. Al combinar los excrementos con agua se produce una mezcla de gases con alto porcentaje de gas metano, siendo este el predominante en la mezcla de gases llamada biogás.

Las condiciones ideales que deben de presentarse dentro del sistema de biodigestores para la obtención de gas metano consisten en tener una temperatura alrededor de 35°C, un pH muy próximo o igual a 7, ausencia total de oxígeno, niveles altos de humedad, materia orgánica, materia prima en trozos pequeños y equilibrio de carbono y nitrógeno.

Es importante mantener controlado los factores que harán posible tener un ambiente con condiciones ideales del sistema, de otra forma puede haber repercusiones tales como baja producción de gas metano. Este es el caso de la temperatura si no se logra mantener entre el rango de condiciones ideales.

El factor de acidez también es importante y debe de estar controlando, puesto que indica cómo se desenvuelve la fermentación y cualquier peligro de acumulación o descompensación de compuestos. Para esto, se mide el pH de la mezcla de materias en el biodigestor y se espera obtener un valor de 7 que es neutro. Si los valores llegan a superar el pH de 8, esto indica que existe una acumulación excesiva de compuestos alcalinos y hay riesgo de putrefacción. Los valores inferiores a un pH de 6 indican una descompensación entre las fases ácidas y metanogénicas, pudiendo bloquear la producción de gas metano.

**2. Componentes del proceso de digestión anaeróbica.** Los componentes de los cuales se conforma un biodigestor varían según su modelo y tecnología. A continuación se menciona un listado de componentes y accesorios

- *Tuberías y válvulas*
- *El reactor digestor*
  - Entrada de efluentes: cámara justo antes del reactor digestor en donde se coloca la mezcla que entrará para el proceso de fermentación.
  - Salida de efluentes: cámara en donde salen los lodos que se utilizarán como fertilizantes.
  - Extracción de fangos: tuberías por donde salen los lodos del reactor digestor.
- *Sistema de gas*
  - Cúpula de gas: el punto de donde se extrae gas del tanque de digestión.
  - Válvulas de seguridad: esta válvula lleva unas arandelas con las que equipará el peso del gas contenido dentro del digestor. Si el gas sobrepasa el peso de la válvula, entonces la válvula se abre para liberar presión.

- Apaga llamas: es una caja rectangular con placas de aluminio corrugado con agujeros taladrados. Si se ocasionara alguna llama dentro de la tubería del gas, la caja lograría enfriarla por debajo del punto de ignición. Evita las explosiones y usualmente se ubican cerca de la válvula de seguridad, después de la tubería de gas del digestor y en el quemador de gases de exceso.
- Válvula térmica: esta sirve para cortar el paso de gas en caso que alguna llama genere calor suficiente para fundir la cúpula. Es un dispositivo de protección.
- Separadores de sedimentos: separa el gas de los sedimentos, permitiendo así al gas a entrar a su sistema.
- Purgadores de condensado: este dispositivo se encarga de purgar el agua condensada dentro del sistema para dejar que el gas circule y no tener ningún problema con los compresores, turbinas, y otros equipos.
- Medidores de gas: dispositivos que miden el nivel de gas producido por el reactor digestor.
- Manómetros
- Reguladores de presión: controla la presión en todo el sistema, se ubican antes y después del quemado de gases en exceso.
- Almacenamiento de gas: el gas que se produce en el reactor digestor se almacena en gasómetros, son tanques de almacenamiento.
- Quemador de gases sobrantes o antorchas: elimina los gases de exceso.
- *Muestreador*: tuberías fijas que se hunden en los lodos del digestor, se usan para tomar muestras.
- *Sistema de calentamiento*: regula la temperatura para que trabaje en sus mejores condiciones.
- *Mezclado del digestor*
  - Mezclador por gas: se comprime gas del que es producido y se descarga en el digestor. Esto se hace para activar las bacterias, evitar costras y homogenizar la mezcla.
  - Mezclado mecánico: mezcla con bombas.

**3. Ventajas.** Una planta de biogás es una instalación que puede llegar a ser estéticamente agradable al ojo, de mínimos gastos de construcción y muy sencilla de operar. Entre algunas de las ventajas que esta tecnología ecológica brinda a la sociedad están:

- Mejora las condiciones de vida sin degradar el ambiente o contribuir a su deterioro.
- Es una energía limpia que utiliza recursos no agotables
- Trata los desechos orgánicos o residuales contaminantes, eliminando malos olores y la contaminación de aguas subterráneas por lavado de suelos.
- Aprovecha el biogás para las necesidades energéticas, puede sustituir a la electricidad, al gas propano y al diesel como fuente energética en la producción de electricidad, calor o refrigeración.
- Aprovecha el material que desecha el biodigestor, el biofertilizante.

**4. Tipos de biodigestores.** Existen distintos tipos de biodigestores con características similares, pero con propósito de generar biogás y tratar aguas residuales. La diferencia principal entre cada sistema se encuentra en el método de carga del material, la mezcla de la materia orgánica, el funcionamiento del reactor digestor en donde ocurre la fermentación y el manejo bioquímico del material en el sistema.

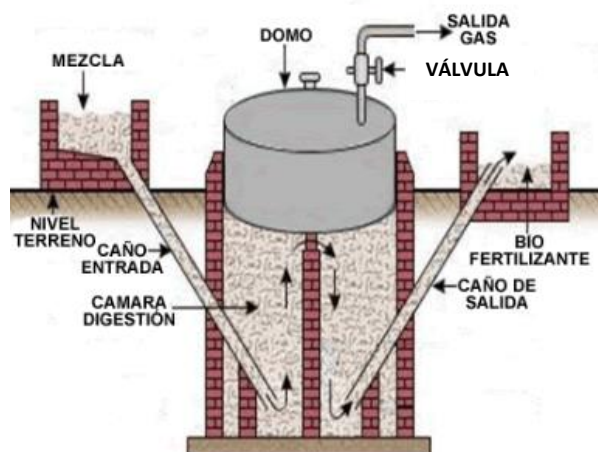
Esta variedad de equipos da la opción para seleccionar el sistema que más se acople a la aplicación del gas, al costo-inversión, a las características del material orgánico digerido y a las exigencias de niveles de descontaminación. A continuación se listan y describen los distintos tipos de biodigestores:

- Según su frecuencia de carga de materia orgánica (materia prima).
  - *Sistema continuo.* Este sistema de biodigestores que se usa principalmente para el tratamiento de aguas residuales. La mayoría son plantas grandes, en las cuales se emplean equipos que controlan la alimentación, calefacción y agitación de la materia dentro de los digestores.
  - *Sistema semi continuo.* Este tipo de biodigestores se caracterizan por ser alimentados diariamente y extraer el efluente líquido del área de descarga de igual manera. Produce biogás de forma casi continua debido al suministro constante de

nuevos nutrientes. Estos sistemas usualmente se usan en las áreas rurales y uno de sus grandes requerimientos es el agua. Para ponerlo en marcha, teóricamente, se debe cargar en un proporción de una parte de material orgánico por cuatro partes de agua.

Entre los diseños más populares se encuentran los biodigestores hindúes y chinos. El sistema hindú en su parte superior presenta un domo que se mantiene flotando en el líquido a causa del biogás que retiene dentro. El domo puede ser de metal o de plástico reforzado que soporte la corrosión que provoca el material retenido en el digestor.

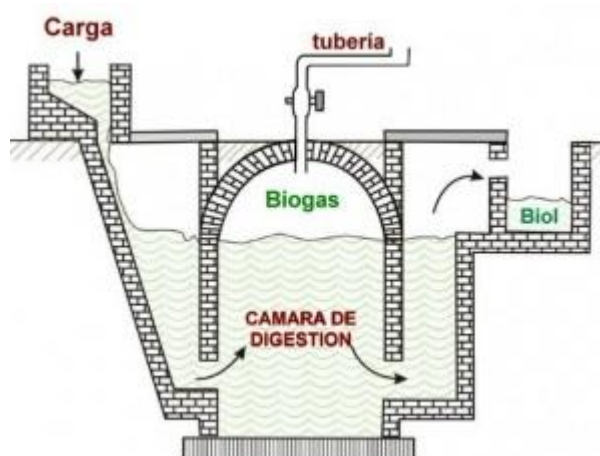
### Ilustración #3: Biodigestor tipo hindú



Se carga por gravedad diariamente, con un volumen de mezcla que varía según la fermentación de la materia y produce una cantidad de biogás constante si se mantienen los factores de producción (temperatura, acidez, entre otros) bajo control. Estos presentan una buena eficiencia de producción de biogás, generando un estimado de 0.5 a 1 volumen de gas por volumen de biodigestor.

El biodigestor chino se construye totalmente encerrado bajo tierra con cámaras de carga y descarga. El gas se almacena dentro del digestor a elevadas presiones que obliga al efluente líquido a salir por uno tubos y se usa como biofertilizante. La producción de biogás es de 0.1 a 0.4 volumen de gas por volumen de biodigestor.

#### Ilustración #4: Biodigestor tipo chino



La eficiencia del sistema chino para la producción de biogás es menor que el hindú, pero es una fuente excelente para la producción de fertilizante. Sin embargo el costo alto que conlleva hacer el modelo chino ha sido la razón para que use más el modelo hindú.

Existe otro tipo de biodigestor llamado modelo horizontal o de bolsas, operan similar al hindú, solamente que son de forma alargada para que la carga líquida y el efluente no se mezclen. Las instalaciones son distintas y de menor costo. Para fabricarlo se usan grandes bolsas de polietileno tubular colocadas en un canal. También se construye una cámara de entrada y una de salida.

**Tabla # 5: Características de tipo de biodigestores**

Tipo de biodigestores :Datos teóricos			
Características	Chino	Hindú	Tubular
Insumo (materia prima)	Residuos agrarios, excretas humanas	Estiércol	Estiércol
TRH (tiempo de retención hidráulica)	45- 90 días	30-60 días	30-60 días
Producción de biogás/m3 de biodigestor	0.1-0.4	0.4-0.6	0.8-1.0

- *Sistema discontinuo.* Son sistemas cerrados que una vez cargada la materia prima no permite extraer o añadir más materia hasta finalizar el proceso de digestión y producción de biogás. El proceso finaliza cuando se termina el biogás que

se generó de toda la materia cargada. Este tipo de digestores admite mayor carga y materiales de mayor tamaño, por lo que se necesita menos agua que en los otros sistemas. Es aplicable cuando la materia disponible para la carga es disponible de forma intermitente

- Sistemas de reactores más usados.

▪ *Mezclado completo.* Se busca que el material dentro de los reactores de digestión esté en mezcla perfecta. Es decir, que toda la materia a fermentar se encuentre bajo una distribución uniforme de temperatura. Para esto se utiliza el método de agitación de líquidos dentro de los biodigestores, se pueden usar aspas, bombas internas o externas, tornillos sin fin, entre otros.

▪ *Mezclado parcial.* Los tipos de *mezclado* que se le hace a la materia orgánica es bastante rudimentarios y manual, esto con el fin de evitar la solidificación de la capa en la superficie a la cual comúnmente se le llama costra. Se utilizan métodos manuales de agitación. Para los biodigestores de tipo horizontal se logra la agitación mediante la circulación de la materia dentro del sistema o la posición de entrada ascendente o descendente de la materia.

▪ *ACP (Reactor de contacto anaeróbico).* Éste es un método en el cual se alimenta el reactor con una mezcla completa y luego se utiliza un separador de sólidos/líquidos para hacer recircular parte de la materia digerida y sus bacterias al reactor digestor.

▪ *UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket).* Es un método que evita que las bacterias salgan del digestor con el efluente. Dentro del reactor digestor se utiliza un separador y una estructura divisora que genera áreas tranquilas para que las bacterias se sedimenten y no salgan del sistema. Éste se usa especialmente para el tratamiento de desechos agroindustriales como bagazo que no admiten partículas insolubles.

▪ *Lecho fluidizado.* Este cuenta con partículas suspendidas dentro del reactor digestor de las cuales se sujetan las bacterias y se evita la salida de ellas con el efluente. Es un método que se usa usualmente a nivel de laboratorio y de pequeñas plantas piloto.

- *Filtro anaeróbico*. Son filtros dentro de los reactores digestores de forma alargada por donde se cuela el flujo y se retienen las bacterias. Tienen tiempos de retención bajos de aproximadamente una semana y no admite material insoluble.
  - *CSTR (Reactor de la mezcla completa)*. Digestor continuo con una entrada de efluente y una salida continua de residuos.
  - *Reactor de laguna cubierta*. Consisten de una cubierta plástica e impermeables con pliegues principales diseñados para atrapar el gas producido. Usualmente se usa en lugares cálidos y para excretas de animales. Es un sistema continuo o semicontinuo que utiliza una mezcla completa.
- Según el manejo bioquímico.
- *Una etapa*. Son todos los biodigestores que cuentan con una sola cámara para realizar la fermentación. Es decir, un solo reactor digestor.
  - *Dos etapas*. Son digestores que siguen en etapa de experimentación y se utilizan más que nada para desechos municipales.

#### **D. Digestión anaeróbica**

La digestión anaerobia es un proceso biológico de degradación de la materia orgánica por medio de bacterias provocando la fermentación de la misma y la producción de gases, siendo estos principalmente en su composición el metano y dióxido de carbono.

Este tipo de digestión es un proceso complejo que requiere de controles climáticos y de la materia para su correcto funcionamiento. Es un proceso en donde se desencadenan varias reacciones bioquímicas para la producción de gas metano.

**1. Característica de la materia orgánica.** La materia orgánica que se usará en el proyecto será la excreta, por lo que se definirán las características y parámetros de la misma.

La excreta puede ser considerada como una mezcla de minerales, agua y compuestos orgánicos. Las características físicas y químicas de la excreta varían dependiendo el tipo de animal y la nutrición. Lo ideal para saber exactamente los nutrientes y propiedades de la excreta es realizar un estudio en laboratorios.

La alimentación influye en la digestibilidad del animal y en la calidad de la excreta. Mientras más alto sea el contenido de fibra ingerido, el proceso de biodegradación de la excreta será más lento. Para lograr obtener el mayor rendimiento posible de la excreta para la producción de biogás se deben de regular los siguientes parámetros:

- *Amoníaco y Amonio*: Estos componentes presentes en la excreta no deben de desproporcionarse ya que pueden causar desbalance en el pH del ambiente. Por lo que hay que regular las concentraciones. Mientras aumente el amoníaco y baje el amonio la concentración de pH tenderá a ser menos ácido.

- *Sulfuros y metales pesados*: Estos componentes del influente en grandes cantidades son tóxicos para las bacterias anaeróbicas, por lo que se necesita hierro para reducir la concentración de los mismos.

- *Acidez (pH)*: Las bacterias metanogénicas son sensibles a las concentraciones ácidas y puede que un desbalance no les permita sobrevivir. El pH ácido se regula mediante la interacción de dióxido de carbono y bicarbonato. Si en caso pH bajara se puede controlar mediante el suministro de hidróxido de sodio, carbonato de sodio o hidróxido de calcio.

- *Materia seca*: Se refiere a la cantidad de sólidos que contiene la excreta. El porcentaje óptimo debe ser de 8 -15 %<sup>2</sup> de sólidos existentes, si es necesario hay que usar un método para homogenizar la mezcla lo más posible para ayudar a que la digestión sea más rápida.

- *Sólidos volátiles*: mediante análisis de laboratorio se determinará el contenido de la materia orgánica digerible. Mantener la relación de degradación del DQO: DBO<sup>3</sup>, mientras más grande el DQO y más pequeño el DBO la degradación de

---

<sup>2</sup> Sofer, S. Samir y Zabrosky, R. Oskar. 1981. *Biomass conversion processes for energy and fuels*. New York, Plenum press. Página 12.

<sup>3</sup> Hacer referencia al subtítulo DQO (demanda química de oxígeno) y DBO (Demanda bioquímica de oxígeno)

la materia es más lenta. Para fines del estudio se tomará en cuenta que la materia mezclada que entra será digerible.

- *Ácidos grasos volátiles*: La mayor causa de fallas en la digestión recae en los ácidos grasos de la excreta, que contienen cadenas de carbono. Es el parámetro más sensible y puede desbalancear la cantidad de bacterias en el proceso de hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis. Cuando los ácidos grasos volátiles permanecen por mucho tiempo en el digestor el ambiente se carga con una sobre concentración de carbono, lo cual produce que las bacterias de la fase acidogénica inhiban la función de las bacterias metanogénicas.
- *Nutrientes*: Los nutrientes que debieran tenerse en la excreta que son útiles para la planta son el nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, manganeso, cobre, zinc, cloro, boro, hierro y molibdeno.

La estabilidad de estos parámetros no solo será el resultado de buenos rendimientos en la producción de biogás, sino también se reflejarán en la calidad del biofertilizante resultante. El fósforo de la materia no se reducirá y mantendrá sus concentraciones de nitrógeno y potasio.

**2. Fermentación metánica.** La fermentación del metano ocurre en la digestión de la biomasa por medio de bacterias anaeróbicas encargadas de descomponer la materia orgánica como proteínas, grasa e hidratos de carbono. Dicha fermentación atraviesa por tres grandes etapas en donde participan varios grupos de microorganismos bacterianos. Las etapas que intervienen y sus diferentes características son:

- *Fase de hidrólisis*: Las bacterias presentes en esta fase son de tipo facultativas. Es decir, bacterias que tienen la habilidad de permanecer en ambientes con o sin oxígeno. El objetivo de este tipo de bacteria es transformar la materia orgánica en ácidos orgánicos y a su vez libera hidrógeno y dióxido de carbono.

- *Fase de acidificación*: En esta etapa las bacterias acetogénicas realizan la degradación de los ácidos orgánicos y como producto liberan hidrógeno y dióxido de carbono. A su vez las bacterias metanogénicas sustraen los productos finales de la fase de acidificación, regulando la concentración de estos en el ambiente. La baja

concentración de los productos finales hace posible la reacción y actividad de las bacterias para la degradación de la biomasa.

- *Fase metanogénica*: Los actores en esta etapa son las bacterias anaeróbicas (no pueden vivir en presencia de oxígeno), las cuales transforman los ácidos orgánicos y liberan en mayor parte metano y dióxido de carbono. Estas bacterias son sensibles a los cambios de acidez y temperatura.

**3. DQO (demanda química de oxígeno) y DBO (Demanda bioquímica de oxígeno).** DQO es un parámetro que mide la concentración de materia orgánica. Establece la cantidad de sustancias susceptibles a ser oxidadas por químicos disueltos en las excretas líquidas. Sus dimensionales son miligramos de oxígeno diatómico (gas a condiciones normales de presión y temperatura, 1 atm y 25 ° C) por litro ( $\text{mgO}_2/\text{l}$ ).

Muestra la cantidad de materia orgánica no biodegradable que presenta el agua. Principalmente se utiliza para comprobar la carga orgánica que contienen las aguas residuales ya que pueden llevar componentes que inhiben la actividad de las bacteria que degradan la materia orgánica. El valor del DQO siempre será inferior al del DBO debido a que muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente pero no biológicamente.

DBO es la cantidad de oxígeno necesaria para que un microorganismo pueda oxidar la materia orgánica del agua. Es un parámetro que se aplica para determinar el grado de contaminación de las aguas, mientras mayor sea la contaminación mayor será el DBO.

**4. COV (Carga orgánica volumétrica).** COV es la cantidad de materia orgánica seca con la que se alimenta diariamente el biodigestor por  $\text{m}^3$  de volumen de digestor, siendo sus dimensionales  $\text{kg}/\text{m}^3$ . Es un parámetro que se encarga de controlar la carga del digestor, ya que en una mezcla diluida las bacterias no tienen suficiente materia para vivir, mientras que en exceso de sólidos pierden movilidad.

A menor temperatura y mayor TRH, mayor puede ser la COV, es decir que más materia orgánica puede ser alimentada al digestor. Teóricamente un valor COV aceptable según estudios previos es un  $5\text{kg/m}^3$ <sup>\*4</sup> al día.

**5. TRH (Tiempos de retención hidráulica).** El TRH es el tiempo en días de permanencia de la biomasa en el reactor digestor. Este valor depende de la temperatura y de la carga orgánica. Por lo que siendo una materia orgánica de mayor facilidad de digestión y mayor sea la temperatura el TRH disminuye.

---

<sup>4</sup> Mongayo, Gabriel. 2010. *Biodigestores manual práctico. Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás*. Aqualimpia beratende ingenireu. Página 235

## VI. MARCO PRÁCTICO

### A. Planta para la producción de gas metano

#### 1. Procedimiento para dimensionar el biodigestor

a. *Estimar la cantidad de influentes o mezcla a generarse diariamente.* La mezcla que entra al biodigestor por la cámara de carga está compuesta de excreta de animales (en este caso se usara solamente la de ganado) y agua.

Para determinar la excreta total se puede aplicará la siguiente ecuación:

$$\frac{PVT * PE\% * HE}{24 \text{ horas}} = \text{aproximado de excretas en kg}$$

- PVT= Peso vivo total (número de animales \* peso vivo promedio)
- PE%= Porcentaje de excreción
- HE= Horas establo, las horas que permanecen los animales en las instalaciones donde se recolecte la excreta

La producción de excreta diaria en kilogramos que genera la finca está relacionada con el peso de cada animal. En el caso de la finca la cantidad de excreta se calculó con 537 animales de un peso promedio de 454 kg y 363 kg, para animales de carga y para animales lecheros respectivamente. Las horas establo que se toman para el cálculo son 12 horas de permanencia en las instalaciones. El porcentaje de excreción de un animal entre 300-500 kg es el 10%<sup>5</sup> de su peso.

De esta manera se realizaron las operaciones y se llegó a los siguientes resultados mostrados en la tabla a continuación.

---

<sup>5</sup> Viquez A., Joaquín. 2010. *¿Cómo diseñar un biodigestor para lecherías?* revista ECAG (Costa Rica). N° 51: página 62.

**Tabla # 6: Cantidad de excreta diaria**

Cantidad excretas diaria						
Animales	Cantidad de animales	Peso promedio (kg)	Porcentaje de excreción por peso vivo (%)	Tiempo de permanencia en corrales (h)	Horas diarias (h)	Total de excretas diarias en establo (kg/día)
Búfalos de trabajo	137	454.55	0.10	12	24	3,113.64
Búfalos lecheros	400	363.64	0.10	12	24	7,272.73
<b>Total de excreta diaria</b>						10,386.36

Después de haber determinado el total de kg de excreta diaria, se debe calcular la cantidad de agua que se utilizará para lavar la excreta. Esto se hace ya que la excreta y el agua conforman la mezcla final que es el insumo para el biodigestor.

Para realizar este cálculo se usó la siguiente ecuación:

$$\#veces\ por\ día * segundos * \emptyset lps = \frac{\text{litros usados diarios}}{1000}$$

$$= m^3\ usados\ diarios$$

- #veces por día = número de veces al día que se riega dentro de las instalaciones para limpiar y acumular la excreta
- Segundos = Segundos en los que se tiene encendida la manguera para limpiar y acumular la excreta por primera vez en el día.
- $\emptyset lps$  = caudal de la manguera a utilizar en litros por seg

Para este cálculo se toma en cuenta el consumo de agua utilizado para el lavado, un caudal de la manguera supuesto de de 1.25 litros por segundo con un uso de 4 veces al día por un total de 480 minutos o 28,800 segundos. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

**Tabla # 7: Consumo de agua en el lavado**

Consumo de agua en el lavado				
Caudal de la manguera (litros por segundo)	Tiempo de lavado (minutos por día)	Agua utilizada para el lavado (litros)	Agua en m <sup>3</sup>	Mezcla total de excreta y agua (m <sup>3</sup> )
1.25	480	36,000.00	36.00	43.69

La excreta en m<sup>3</sup> es aproximadamente 7.69, tomando en cuenta un COV de 5 kg de excreta por m<sup>3</sup> y un digestor para aproximadamente 500 cabezas de 1350 m<sup>3</sup>.

b. *Calcular los kg de DQO que entran diariamente.* La concentración teórica de DQO de la excreta de un animal es aproximadamente un 100,000 mg/L \*<sup>6</sup>. Para calcular los kg de DQO que entraran diariamente al biodigestor se utiliza las siguientes ecuaciones:

$$\frac{\text{Total de excreta bruta diaria} * \text{concentracion de DQO} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}{1000000 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} = \text{kg de DQO}$$

- Total de excreta bruta diaria = el total que se calculo en la sección 1 del procedimiento para seleccionar el diseño del biodigestor (13.984,00 kg diarios)

- Concentración de DQO (mg/L) = 100,000 mg/L (ECAG 2009). Después se le quito la cantidad de DQO o materia que se transforma y pierde durante el proceso, que es aproximadamente un 65%.

$$\text{kg de DQO} - \text{kg de DQO extraídos por el separador mezclador} = \text{kg de DQO para el } \frac{\text{biodigestor}}{\text{día}}$$

<sup>6</sup> Viquez A., Joaquín. 2009. *Producción y caracterización de excreta, un paso esencial para el buen uso de este recurso en fincas lecheras*. Revista ECAG (Costa Rica).Nº 49: 54-56.

De esta manera se obtiene la cantidad de DQO diaria que entrara al biodigestor y se podrá calcular más adelante el tamaño de biodigestor. A continuación en la tabla se encuentran los resultados del cálculo.

**Tabla # 8: DQO (demanda química de oxígeno)**

<b>DQO (Demanda química de oxígeno)</b>					
<b>Concentración teórica de DQO en la excreta (mg/L)</b>	<b>Porcentaje perdidas y materia no digerible (%)</b>	<b>Excretas diarias (kg)</b>	<b>DQO en la excreta (kg de DQO)</b>	<b>Cantidad de DQO que se extrae (kg de DQO)</b>	<b>DQO diario en el biodigestor (kg de DQO/día)</b>
110.000	0.65	10,386.36	1142.5	742.625	399.875

c. *TAO (Tasa de alimentación orgánica)*. TAO es una expresión de la cantidad de insumos que entra al biodigestor por volumen y se expresa en DQO por m<sup>3</sup> de biodigestor por día. En este cálculo se establece la cantidad de comida versus microorganismo. Mientras más microorganismos hay dentro de un biodigestor se puede alimentar más comida por volumen, pero si la cantidad de microorganismo es baja su alimentación debería de ser de la misma manera. En otras palabras, es la cantidad de comida que se digiere.

El TAO del proyecto será para un biodigestor anaeróbico de membrana o laguna.

**Tabla # 9: TAO (tasa de alimentación orgánica)**

<b>TAO (Tasa de alimentación orgánica)</b>
<b>TAO teórico (kg de DQO/m<sup>3</sup>/día)</b>
0.35 <sup>7</sup>

<sup>7</sup> Viquez A., Joaquín. 2010. ¿Cómo diseñar un biodigestor para lecherías?. revista ECAG (Costa Rica). N° 51: página 62

*d. Estimar el volumen del biodigestor.* El volumen de biodigestor servirá para tener las proporciones necesarias que se necesitaran tanto de espacio como de material de construcción del biodigestor. Para el cálculo del volumen interno del digestor se usó una ecuación que relaciona la concentración de materia orgánica diaria con los kilogramos de materia orgánica por m<sup>3</sup> de un biodigestor al día:

$$\frac{\text{kg DQO/día}}{TAO} = \text{m}^3 \text{ de biodigestor}$$

El resultado es una buena estimación par tener una idea de la producción de biogás. Al aplicar la expresión los resultados fueron:

**Tabla # 10: Volumen de biogás producido**

Volumen de biogás producido (m <sup>3</sup> de biodigestor)
1142,5

El volumen del biodigestor debe de ser más grande que el volumen del biogás, esto se debe a que el digestor estará lleno también de la mezcla. Se multiplicó la mezcla total por la cantidad de días de retención (TRH)

**Tabla # 11: Volumen del biodigestor**

Volumen del biodigestor (m <sup>3</sup> )
1386.67

*e. Estimar el TRH (Tiempo de retención hidráulico).* El TRH es el periodo que tarda la mezcla (influyente) introducida al biodigestor en ser deliberada a cámara de descarga (efluente). Este periodo garantiza que se cumplan los procesos necesarios para llegar a la fermentación metánica. Un corto TRH podría ocasionar una baja de microorganismos (bacterias), lo cual produciría un incremento de la fase de acidificación de la materia orgánica y dificultades para la fase de metanogénica.

Es importante estimar la cantidad de influentes y el TRH para obtener la mayor cantidad de biogás posible. El tiempo que necesita la mezcla de excreta y agua para ser digerida en condiciones normales es un mínimo de 30 días y un máximo de 40 días. Para establecer el periodo necesario para el biodigestor del proyecto se uso la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Volumen de biogás } m^3}{\text{agua que entra } (m^3)} = \text{Dias de TRH}$$

El resultado al resolver esta expresión fue:

**Tabla # 12: TRH (tiempo de retención hidráulico)**

TRH (Tiempo de retención hidráulico) en días
31,74

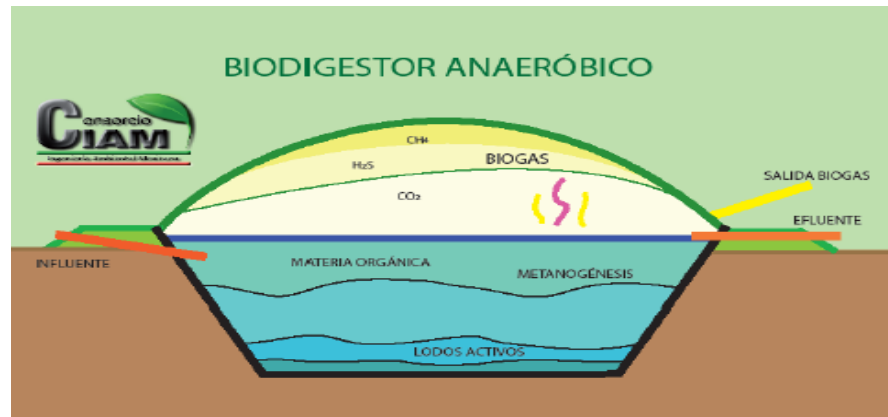
Si se quisiera elevar el rendimiento del biodigestor se tendría que elevar el TRH lo más cercano a 40 días. Para lograr el máximo rendimiento acorde a la situación que se ha planteado con los procesos anteriores, se debe de reducir la cantidad de agua que se usa para lavar. Con esto se logrará reducir el volumen de la mezcla total que entra a al biodigestor y reducir el TRH.

## **B. Funcionamiento general de la planta**

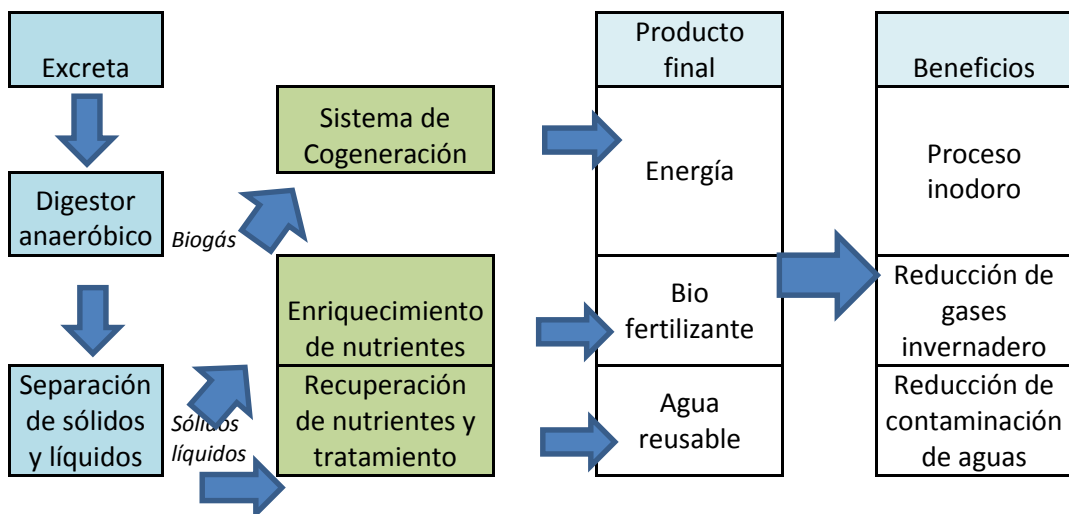
Lo que se pretende realizar con la planta de biogás es una producción, a partir de excretas de búfalo y su debida digestión anaeróbica, de gas metano, lodos y agua residuales tratada. El propósito de hacer este sistema es la producción de energía eléctrica y calor que se puede generar a partir del gas metano, el ahorro de abono a través del biofertilizante conformado por lodos enriquecidos en nutrientes y el tratamiento para uso de aguas residuales.

Los esquemas a continuación se ejemplifican el proceso general de la planta, sus productos y beneficios.

### Ilustración # 5: El propósito de la biodigestión anaeróbica



### Diagrama # 3: Beneficios del proceso



### C. Diseño de la planta

**1. Ubicación.** La planta de biogás se piensa ubicar cerca de los establos en donde se tendrá al ganado, aproximadamente 300 metros de la casa patronal. En las cercanías no hay ninguna fuente de agua que pueda llegarse a contaminarse con la mezcla del establo en caso de derrames.

Es importante para este tipo de plantas hacer un estudio geológico para verificar el nivel del manto freático y así dejar alrededor de 0.60 metros de distancia arriba del

manto para la excavación. En caso que la excavación no pudiera ser muy profunda se tiene terreno libre para poder expandirla.

El área de terreno que se necesita para construir la planta es de 290m<sup>2</sup> y el previsto para el proyecto es de 400m<sup>2</sup>, por lo que hay espacio suficiente para expandir el proyecto en un futuro. A continuación se muestra un esbozo de la finca y la localización del proyecto.

**Ilustración #6: Ubicación de la planta dentro de la finca**



**2. Área de carga de influentes y mezclador.** Esta es el área en donde se prepara la materia prima para entrar reactor digestor. Es donde se le da un pre tratamiento a la

materia para homogeneizarla con las condiciones de temperatura, pH, materia inorgánica y materia seca. Esto se hace por medio de unas aspas que están dentro del área de carga, las cuales se moverán continuamente para homogenizar la mezcla.

El área del contenedor para los influentes será de  $12\text{m}^3$ . Será elaborado de cemento y se le colocaran las aspas mezcladoras dentro para que agiten constantemente la mezcla.

**3. Sistema de transporte y alimentación.** Tener a los animales en un lugar facilitara la recolección de la excreta y el transporte de los influentes al área de carga de la planta.

Para transportar la mezcla se usará un sistema de descarga denominado en inglés “flushing system”. La mezcla capturada en los establos será recolectada en tanques auxiliares que por medio de tuberías, PVC de 6-10 pulgadas, inclinada serán transportados al área de carga. El digestor se alimentara de tres a 4 veces al día, cada vez que se limpie el establo. En los tanque se deben acumulen aproximadamente  $11\text{m}^3$  de mezcla y permaneces no más de dos horas en el mezclador.

**4. Reactor digestor.** El diseño del reactor será una laguna continua anaeróbica con mezcla completa. Este tipo de reactor se escogió debido al bajo costo, fácil manejo y bajo sistema de mantenimiento para trata desechos animales. Este también es un sistema que se usa en temperaturas cálidas como las que se tienen en el departamento de Escuintla, alrededor de  $34\text{-}35\text{ }^\circ\text{C}$  todo el año.

**5. Diseño de la laguna.** El diseño de la laguna será cuadrada con un área de  $210\text{m}^2$  ( $20 \times 10$  metros), una profundidad de 3 m y una altura del cobertor de 4m. Si se tiene la aprobación de los estudios de niveles freáticos se podrá construir una laguna profunda.

La ventaja de hacer una laguna profunda es que se usará menor área superficial, mejor mezcla natural por el ascenso de burbujas de gas y uso eficiente de aeración mecánica.

a. *Construcción de la laguna.* Para la construcción de la laguna anaeróbica se deben de seguir varias técnicas y métodos ordenados. Primero es la preparación del sitio, en el que se debe de limpiar el terreno quitando pasto y material orgánico.

#### **Ilustración # 7: Preparación del terreno**



Luego empieza el corte de zanja que sirve para remover arena, grava y materiales de conducción de agua para prevenir fugas debajo del embalse.

#### **Ilustración # 8: Preparación para corte de zanja**



El siguiente paso es la excavación y formación del embalse, se deben retirar las piedras, arena, grava, objetos corto punzantes. Después se construye una laguna con el volumen requerido, se compacta el suelo y se redondean las orillas alrededor de la laguna.

**Ilustración # 9: Excavación****Ilustración # 10: Formación del embalse**

Durante este proceso también se prepara la superficie y se instalan las tuberías alrededor del embalse. Estas tuberías servirán para bombear y hacer circular la mezcla. Se colocaran cada dos metros a lo largo de la laguna.

**Ilustración # 11: Preparación de tuberías**

Por fuera de la laguna se harán cavidades para poder alcanzar las tuberías y bombear en el momento que se requiera. Éstas estarán hechas de hormigón con una estructura de soporte de acero.

#### **Ilustración # 12: Cavidades para tuberías**



Después se forra la superficie de la laguna y los bordes con plástico polietileno, esto con el fin de proteger el agua subterránea de la mezcla e impedir la entrada de agua u oxígeno. Con pernos se ajusta el forro en la estructura de hormigón donde están las tuberías.

#### **Ilustración # 13: Forro de la superficie**



También es necesario forrar con malla o plástico las orillas exteriores del embalse, esto le da mayor soporte a la estructura y evita pequeños deslaves de tierra. Éstas se ajustan con los pernos de las cavidades de hormigón.

**Ilustración # 14: Forro de orillas**

La entrada de mezcla a la laguna se posicionará en el centro de la misma, de esta forma se lograra distribuirla en todo el reactor. Dentro de la laguna se tendrá un sistema de bombeo (pozos para bombeo o agitación para hacer circular los sedimentos que se asienten en el fondo y provocar la que continúe el proceso de fermentación de la laguna. Para esto se colocan tuberías de PVC a lo largo de la laguna y se conectan con las tuberías instaladas al principio.

**Ilustración # 15: Tuberías dentro del embalse**

Después de tener armado el sistema de laguna para el digestor se empieza a llenar con la mezcla. Se llenan solamente hasta 2.5 metros de altura como máximo, para dejar holgura por seguridad.

**Ilustración # 16: Llenado**

Luego se realiza la instalación de cubierta de la laguna, esta se sella con la cubierta de la superficie por medio de calor. Arriba de las orillas selladas se le pondrá el material orgánico que se excavo, esto con el propósito de evitar el acceso de oxígeno. En el fondo de la laguna, de ser necesario unir dos plásticos, estos no deben de traslaparse más de 100mm.

#### **Ilustración # 17: Instalación de cubierta**



#### **Ilustración # 18: Unión de forros**



Finalmente, encima de la cubierta se le coloca plástico relleno de materia orgánica excavada para evitar que el viento arranque los forros del sistema.

Este tipo de soporte permanecerá encima de la cubierta aún cuando está llena de biogás. Es el método más efectivo de asegurar las carpas, ya que si se pusieran lazos se arruina con facilidad el caucho debido a la fricción de los materiales.

### Ilustración # 19: Soporte



**6. Área de descarga de lodos.** El volumen del área de descarga corresponde al volumen del influente del digestor y a la degradación de la materia. La materia que no logre degradarse se convertirá en sedimento y se irá al fondo de la laguna. Este sedimento es el lodo que se usara como fertilizante.

Suponiendo que el 65%<sup>8</sup> de la materia se degrada y que el restante 35 % queda como sedimentos, el volumen de la laguna será de 16 m<sup>3</sup> (el 35% del total de la mezcla 44 m<sup>3</sup>). Es importante inspeccionar esta área para que se descargue a tiempo el lodo y no obstruya el paso de la demás materia saliente.

Los lodos que salen del digestor serán usados como fertilizante en las aéreas verdes y en cultivos que tiene a algunos kilómetros de la finca

**7. Bomba de recirculación.** Es de tipo diafragma para mantener la producción de biogás y evitar el colapso del sistema.

### Ilustración # 20: Bomba de recirculación



<sup>8</sup> Mongayo, Gabriel. 2010. *Biodigestores manual práctico. Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás*. Aqualimpia beratende ingenireu. página 457

**8. Tuberías.** Las tuberías de captación de gas, de transporte de mezcla y de descarga de efluente deben estar selladas al sistema para evitar la oxigenación en el reactor. La tubería de captación de gas será de PVC de alta densidad, mientras las otras de PVC.

**Ilustración # 21: Tubería PVC alta densidad**



**9. Sistema de purificación del gas.** Para purificar el gas se utilizara un filtro hecho de acero inoxidable. Servirá para atrapar partículas gruesas de la mezcla que se van por el gas. También se utilizara para separar partículas de sulfuro que puedan ir en el gas para proteger a los equipos de generación de energía eléctrica de la corrosión.

**Ilustración # 22: Filtro de biogás**



**10. Sistemas de medición.**

*a. Analizador de gas.* Este equipo analiza en línea la concentración de metano, dióxido de carbono y ácido sulfúrico. Con esto se podrá mantener la concentración de metano al 65 % o más si se pudiera.

### Ilustración # 23: Analizador de gas



b. *Medidor de flujo.* Se instala en la tubería de biogás para determinar el flujo del mismo.

### Ilustración # 24: Medidor de flujo



c. *Medidor de presión.* Se tomará la presión del biogás mediante sensores de presiones ubicados sobre la cubierta de la laguna. Este también controlará la altura de la cubierta de la laguna. Al llegar al límite máximo permitido de presión dentro de la cubierta se encenderá una alarma para que se libere presión en la antorcha. Sin embargo, el proyecto está destinado para almacenar aproximadamente dos días de gas.

### Ilustración # 25: Medidor de presión



d. *Generación de energía.* Para la generación de energía se usará un set de generación de energía a partir de biogás. Es un sistema que será alimentado

continuamente y será posible generar energía eléctrica a toda hora. La eficiencia del equipo de cogeneración es de 33%.

Es un sistema especializado para gases de biomasa a partir de excreta. Es una moto-generador continua de cuatro tiempos con una capacidad de hasta 1500RPM: 260 kW.

#### **Ilustración # 26: Moto generador**



Aparte del motor generador para la producción de energía eléctrica se necesita comprar motores eléctricos para las salinas. De esta manera se podrá ahorrar en combustibles y usar la planta de biogás. Los motores que se deben comprar son 2 de 40 hp exclusivos para biogás.

#### **D. Producción energética de la planta**

La generación de la planta se mide por potencia (Kw) y por energía eléctrica (kWh). Para realizar los cálculos se necesitan los siguientes datos:

**Tabla # 13: Datos para el cálculo de potencia**

<b>Datos para el cálculo de potencia</b>				
<b>Producción de biogás diaria (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Porcentaje de metano contenido en el biogás (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Producción de gas metano (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Eficiencia de la producción de la energía eléctrica del motor y generador (%)</b>	<b>Producción de biogás por m<sup>3</sup> de gas metano (kwh/m<sup>3</sup>)</b>
1142,5	0,65	742,625	0,33	10

Ya establecida la eficiencia de los motores y generadores, y la energía que se produce por m<sup>3</sup> de gas metano se puede calcular la producción de electricidad y potencia utilizando las siguientes expresiones:

$$E = CH4 (m^3) * \left(\frac{kWh}{m^3}\right) * (\% e)$$

- E= electricidad generada diaria
- CH4= producción de gas metano
- $\left(\frac{kWh}{m^3}\right)$  = Producción de energía eléctrica por m<sup>3</sup> de gas metano
- % e= Eficiencia del generador y motor

$$P = \frac{E}{h} * \%s$$

- P= Potencia generada diaria
- E=electricidad generada diaria
- h=Horas de operación
- %s = porcentaje de seguridad para el generador y motor

Para el caso particular de la finca se consideraron los siguientes datos que llevaron al cálculo de producción de biogás:

**Tabla # 14: Generación de energía eléctrica**

Generación de energía eléctrica y potencia			
Periodo	Producción de energía eléctrica (kWh)	Potencia para 14 horas de operación (kW)	Potencia con el 20 % de seguridad (kW)
Diaria	2450,6625	175,0473214	210,0567857
Mensual	73519,875	5251,419643	6301,703571
Anual	882238,5	63017,03571	75620,44286

## E. Sistemas de seguridad

**1. Apaga llamas.** El apaga llamas se instalará en la línea de biogás que conduce a la antorcha. Se encuentra justo antes de que el gas entre a la antorcha, esto protegerá al sistema en caso de llamas en las tuberías.

**Ilustración # 27: Apaga llamas**



**2. Antorcha.** Las antorchas para quemar el biogás serán para emergencia en caso de exceso de biogás. Es un sistema de seguridad para eliminar la presión del sistema y para quemar el biogás en vez de dejarlo ir a la atmosfera. Debido al propósito de la planta, generación de energía eléctrica, se evitara lo más posible la quema de biogás.

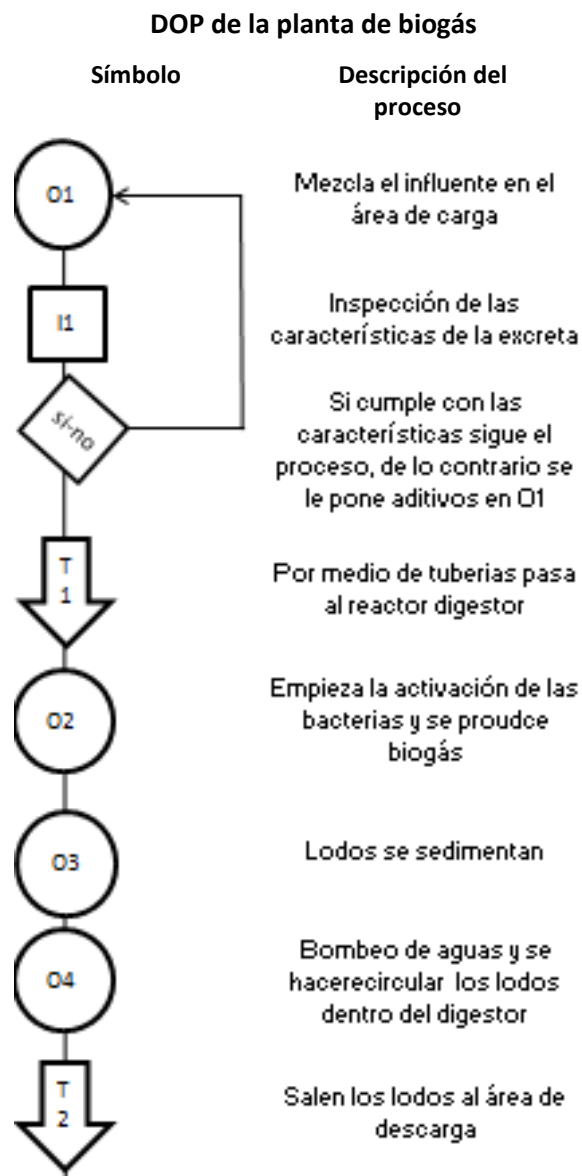
**Ilustración # 28: Antorcha**

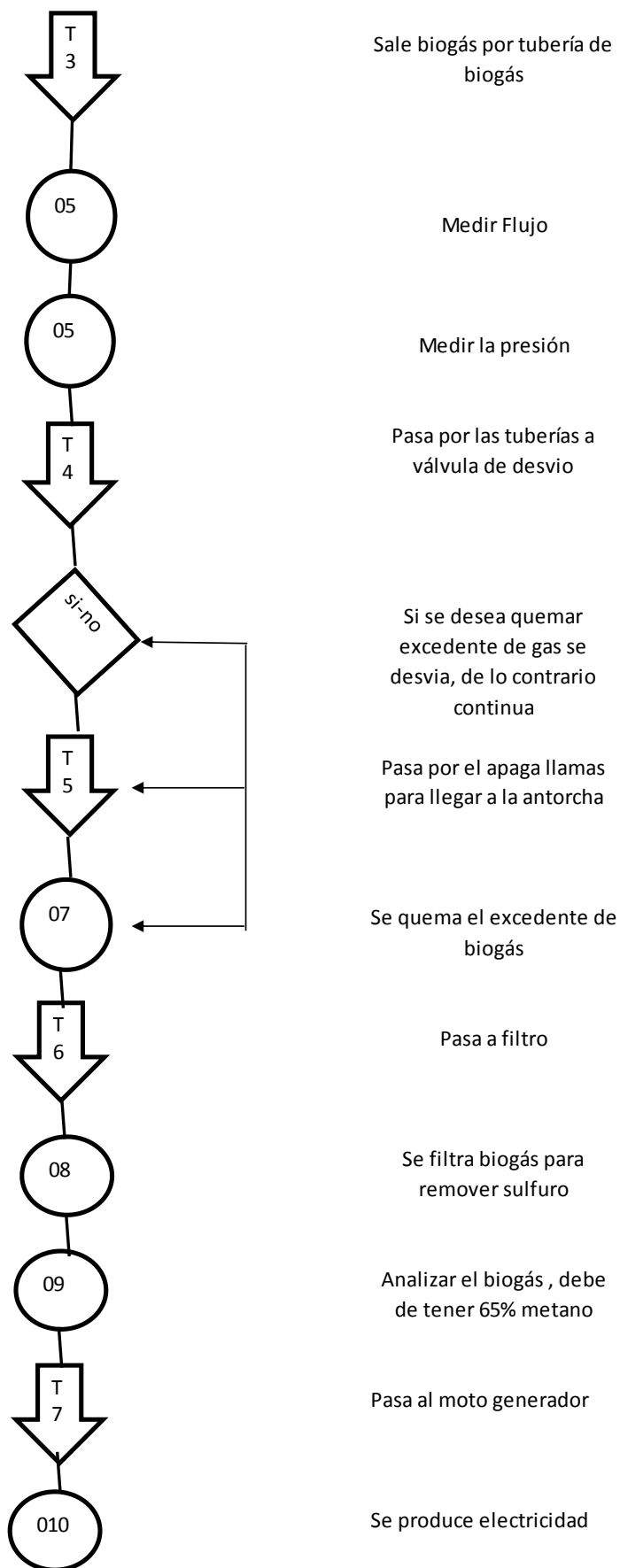


## F. Diagramas

### 1. DOP de la planta ( Diagrama de operaciones del proceso)

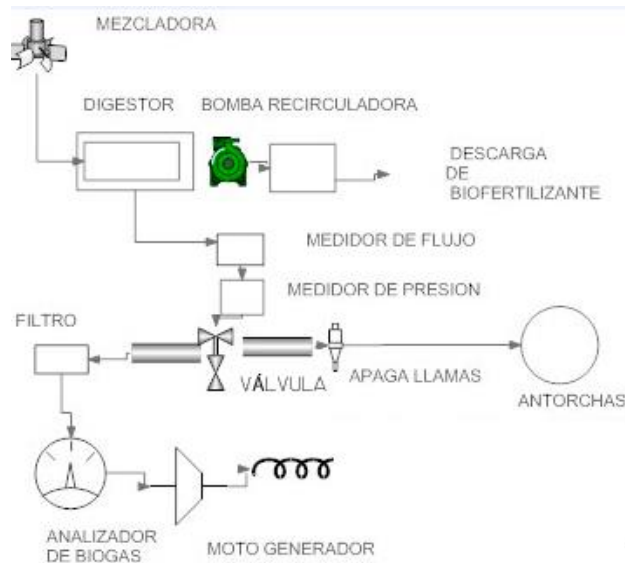
**Diagrama # 4: DOP planta de biogás**





## 2. Diagrama de flujo de la planta

**Ilustración # 29: Diagrama de flujo de planta**



### G. Ley en energías renovables

Debido a que éste es un proyecto con capital privado y sin fines de comercializar energía o potencia, no se ve obligado a cumplir con las leyes y reglamentos establecidos por la CNEE (Comisión Nacional de Energía y Minas). Las cuales regulan y norman a los agentes del mercado eléctrico guatemalteco (generadores, transportistas, distribuidores y comercializadores). Sin embargo puede gozar de los beneficios de la ley de energía renovable.

**1. Incentivos para proyecto de energías renovables.** De acuerdo al artículo 5 de la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable, Decreto 52-2003 del Congreso de la República, se establece que empresas, personas individuales y jurídicas gozaran de los siguientes incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable:

i. Serán exentos de impuestos arancelarios por importación, incluyendo el IVA (impuesto de valor agregado), de equipo utilizado para la generación de energía renovable. Para esto se debe solicitar la aplicación del incentivo a la SAT (superintendencia de administración tributaria) y de esta manera sea

autorizada la importación. Esto será válido en el periodo de pre inversión y construcción, el cual no exceda de 10 años.

ii. Serán exentos del pago del ISR (impuesto sobre la renta) por los primeros 10 años del proyecto. Solamente aplica a aquellas personas que desarrollen el proyecto energía.

iii. Exención del impuesto a las empresas mercantiles y agropecuarias por 10 años.

Para poder aprovechar los incentivos mencionados anteriormente de debe de dirigir una solicitud al MEM (Ministerio de Energía y Minas) durante los periodos de pre inversión y construcción. También se debe presentar la documentación general del proyecto y su cronograma de realización de los perdidos de pre inversión, construcción y operación.

Entre otra documentación que se debe de recaudar para el MEM está la declaración del cumplimiento con la Ley General de Electricidad (esto aplica solo en caso de comerciar energía), listado total de materiales, equipos, y el tipo de incentivos solicitados.

Por último la solicitud será estudiada por el MEM y en caso de ser aceptado se extenderá una certificación que acredite se desarrolla un proyecto de fuentes renovables de energía y la lista de los insumos sujetos de exoneración de impuestos.

## **H. Impacto ambiental y social**

**1. Gases de efecto invernadero.** A grandes rasgos, el efecto invernadero es un fenómeno que se da debido a la emisión de gases que retienen la radiación infrarroja emitida por la tierra y la envía nuevamente de regreso calentando la superficie terrestre aún más. Tiene como efecto el calentamiento global y el cambio climático.

Los gases de efecto invernadero responsables de las consecuencias de cambio climático son el vapor de agua (H<sub>2</sub>O), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano

(CH<sub>4</sub>), óxidos nitrosos (N<sub>2</sub>O), ozono (O<sub>3</sub>) y clorofluorocarbonos (CFC). A excepción de los CFC todos los gases de efecto invernadero son naturales y existen antes de la aparición de los humanos en la atmósfera. El incremento de estos gases causado por el hombre y la deforestación, ha provocado la acumulación de dichos gases en la atmósfera sin la posibilidad de que esta se regenere.

Por lo tanto es importante tener en cuenta la emisión de los gases de efecto invernadero de los procesos para la obtención y el consumo energético. Con el uso de energías renovables se obtiene una forma limpia de generación de energía, logrando la reducción del impacto negativo al ambiente.

**2. El ganado y su contribución con gases efecto invernadero.** En La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO, en sus siglas en inglés) y la Iniciativa para la Ganadería, Medio ambiente y Desarrollo (LEAD, en sus siglas en inglés) realizaron un estudio en donde dijeron que “el sector ganadero puede llegar a generar más gases efecto invernadero que el sector de transporte” y concluyeron que el proceso de productos de ganado contribuye al cambio climático y a la contaminación del aire.

El ganado es un emisor directo de los gases de efecto invernadero, igual que los humanos en el ciclo respiratorio produce CO<sub>2</sub>, las excretas emite gases N<sub>2</sub>O, NH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, amoníaco (NH<sub>3</sub>). También afectan el balance de CO<sub>2</sub> ya que se comen los pastos que ayudan a regular la concentración de CO<sub>2</sub>. Las emisiones de NH<sub>3</sub> son acarreadas por el viento y contaminan el aire causando mal olor a cientos de kilometro de donde se encuentra la excreta. Las partículas de NH<sub>3</sub> que se elevan a la atmósfera son devueltas a la tierra en forma de lluvia acida y gases que dañan cosechas, vida acuática, bosques, entre otros.

**3. Biogás una solución amigable.** Los países en vías de desarrollo, en caso que el cambio climático se vuelva cada vez más notable, son las más vulnerables a las consecuencias negativas debido a la poca capacidad de desarrollar una técnica o mecanismo para enfrentar el problema. Este fenómeno podría ocasionar severos daños y cambios en los recursos de agua, cosechas, el nivel del mar, infraestructura, actividad económica, salud de seres vivos, entre otros.

La captación de biogás de una planta beneficiara en evitar que el metano y otros gases lleguen a la atmósfera. En la finca se podrá sustituir la energía eléctrica generada con combustibles fósiles, se transformaran los desechos orgánicos en materia prima, mejoraran las condiciones de higiene y por otra parte traerá beneficios económicos.

**4. Impacto social.** El nuevo sistema para producir energía eléctrica que quiere adoptar la finca conllevará cambios en las actividades del personal. Principalmente en la organización y control de uso de agua de lavado que tendrán que usar en el establo, y en el uso consciente de la planta.

Es necesario instruir al personal de las funciones y operaciones que se hacen en la planta y los métodos de seguridad dentro de las instalaciones. Es importante involucrar a todo el personal en el proyecto para que acepten la idea de tener una energía verde.

Al ser un proyecto que no emite olores fuertes o no agradables no habrá problema con trabajadores, vecinos ni propietarios.

## **I. Operación**

La planta de biogás es un sistema que permite actuar de manera rápida ante cualquier situación que pueda afectar la producción de biogás. Cuenta con instrumentos de medición y sistemas de seguridad que proporciona información que permite tener siempre un proceso estable.

Es una planta sencilla de operar que necesita básicamente de cuatro actividades físicas por parte de los trabajadores. Primero introducir la mezcla al sistema desde el establo al área de carga. Luego, activar la bomba de circulación de la laguna. Después retirar los lodos que serán utilizados como fertilizantes y por ultimo hacer monitoreo diario.

**1. Monitoreo.** Durante el funcionamiento de la planta se deberán de registrar los parámetros de medición requeridos por el proceso. Estos parámetros son las

características de la excreta, los sistemas de medición y sistemas de seguridad. Todos los datos se recopilaras mediante una bitácora manual.

**2. Mantenimiento.** El mantenimiento para los equipos se dará acorde a los manuales de operación y mantenimiento. Las tuberías de transporte y alimentación tendrán que revisarse a diario y verificar que no estén obstruidas.

**3. Número de trabajadores.** Para la operación de la planta se necesita personal encargado del área de máquinas y de la toma de datos de los instrumentos de medición.

El encargado de máquinas tendrá bajo su responsabilidad el funcionamiento del moto-generator y de hacer los debidos mantenimientos a la maquinaria de la planta. Este trabajador podrá contar con la ayuda de los supervisores de instrumentos para realizar sus actividades de mantenimiento.

Los supervisores de instrumentos dentro de sus obligaciones tendrán llevar el récord de las medidas diarias de los instrumentos y colaborar con cualquier mantenimiento de las máquinas.

**Tabla # 16: Operadores**

Operadores		
Puestos	Personal requerido	Sueldo
Supervisión de instrumentos	2	Q 1.800,00
Área de máquinas	1	Q 1.600,00

## VII. DETERMINACIÓN DE COSTOS

### A. Inversión Inicial

Los costos de inversión de la planta fue lo primero que se planteo para en análisis financiero del proyecto. La mayoría de los proveedores son nacionales a excepción de los motores especiales para biogás y los instrumentos de medición.

Los precios que se manejaron en las cotizaciones internacionales fueron dólares estadounidenses, por lo que se utilizó la tasa vigente de abril de 2011 de Q.7.66<sup>9</sup> por US\$1.00.

A continuación en la Tabla # 17 está el listado de costos de material y equipo, instalaciones y estudios, y otros gastos. Los estudios se refieren a los análisis necesarios para la caracterización de la excreta, mezcla dentro del digestor y estudios de manto freático.

Entre los otros gastos se contempla un monto de contingencia, el cual es un 2% de la inversión total inicial, éste es el margen de error que puede haber en el cálculo de los costos de inversión.

**Tabla #16: Inversión inicial**

Material y equipo	Flete( Q)	Precio (Q)
Aspas mezcladoras	-	Q 1.093,95
Tubería PVC	-	Q 8.779,60
Tubería PVC alta densidad	-	Q 15.000,00
Excavadora y aplanadora	-	Q 1.000,00
Forro de abajo: polietileno alta densidad plástico -	-	Q 27.050,40
Forro externo zanja Y sujetadores: polietileno alta densidad con protección UV	-	Q 3.400,00
Membrana cubierta y sistema contra viento: caucho alta densidad protección UV	-	Q 60.112,00

<sup>9</sup> Referirse a página web del BANGUAT. Tipo de cambio <http://www.banguat.gob.gt/cambio/>

**Continuación Tabla#16: Inversión inicial**

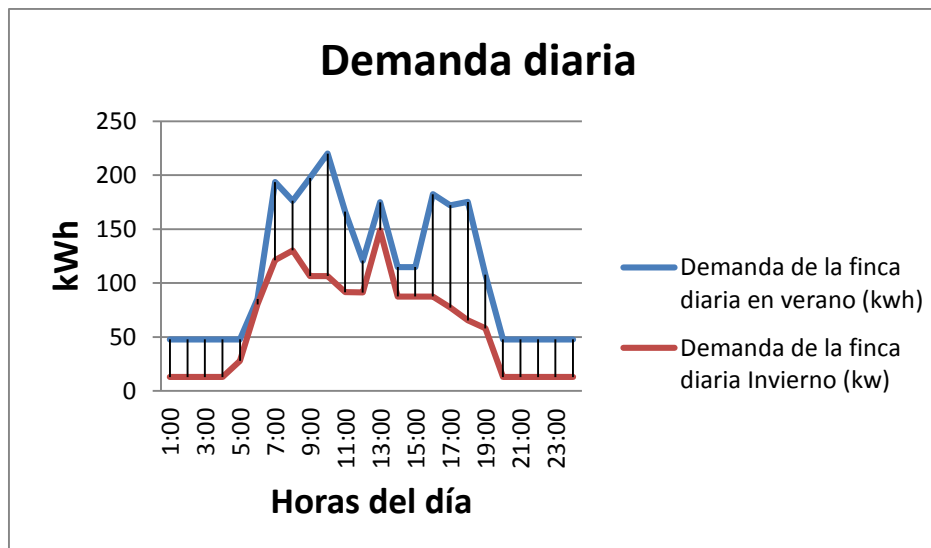
<b>Material y equipo</b>	<b>Flete( Q)</b>	<b>Precio (Q)</b>
Bomba de recirculación	-	Q 4.590,00
Filtro de acero inoxidable	Q 1.000,00	Q 13.700,00
Analizador de gas	Q 1.000,00	Q 787.000,00
Medidor de flujo	Q 1.000,00	Q 44.000,00
Medidor de presión	Q 1.000,00	Q 4.300,70
Motor generador biogás	Q 2.000,00	Q 31.000,00
Antorcha y apaga llama	Q 2.000,00	Q 67.800,00
pernos y otras piezas pequeñas	-	Q 1.000,00
Estructura de acero soporte de hormigón	-	Q 6.000,00
Hormigón para cavidad de tuberías	-	Q 4.200,00
Motores eléctricos para salinas	Q 2.000,00	Q 15.300,00
<b>Instalaciones y estudios</b>		
Instalación de estructura	-	Q 10.000,00
Asesoría de instalación	-	Q 7.650,00
Instalación de motores	-	Q 5.000,00
Estudios y laboratorios	-	Q 10.000,00
<b>Otros gastos</b>		
Contingencia	-	Q 21.795,11
<b>TOTAL</b>	Q 10.000,00	Q1.149.771,76
<b>TOTAL DE INVERSION</b>	<b>Q 1.159.771,76</b>	

**B. Ahorro y pérdidas de energía eléctrica con la planta**

La demanda eléctrica de la finca se dividió en dos fases, invierno y verano, de 6 meses cada uno. Se hizo de esta manera por la estacionalidad de trabajo de las salinas, ya que en verano consumen más energía que en invierno. Esto se debe al trabajo de los motores y bombas que extraen agua para los litorales de sal. Primero, se determinó la

demanda nueva de la finca por horas. Esto tomando en cuenta los nuevos motores eléctricos de las salinas y excluyendo la casa patronal.

**Gráfica # 6: Demanda diaria en kWh en verano e invierno**



Luego se comparó el consumo real de la finca contra la generación de electricidad con la planta de biogás. Con esto determinamos el ahorro en verano e invierno y el ahorro total anual que se tendrá de energía eléctrica, esto es para el primer año, ya que para las proyecciones anuales se le hizo un incremento de 1.43% al precio de Q/kWh 1.55.

**Tabla #17: Ahorro anual por producción con planta de biogás**

Ahorro de energía eléctrica	Verano	Invierno
<b>Demanda diaria cubierta con biogás (kwh)</b>	2201,09	1339,73
<b>Ahorro de diario Q/kwh (1.55 de quetzal el kwh)</b>	Q 3.411,69	Q 2.076,58
<b>Ahorro mensual Q/kwh (1.55 de quetzal el kwh)</b>	Q 102.350,69	Q 62.297,45
<b>Ahorro semestral Q/kwh (1.55 de quetzal el kwh)</b>	Q 614.104,11	Q 373.784,67
<b>Ahorro anual Q/kwh (1.55 de quetzal el kwh)</b>	Q	987.888,78

La producción de la planta de biogás será solamente de 14 horas y no de todo el día. Esas 14 horas se distribuyeron de 6:00y 19:00 horas, ya que a esas horas hay más energía demandada. Sin embargo, la capacidad de la planta es más grande que la demanda en esas horas. La razón por la que no se toman las horas restantes del día es debido a la demanda tan variante y pequeña que se da en esas horas. Además, si se trabajará 24 horas, en verano no habría como cubrir la demanda. Por esto habría necesidad de contratar a la empresa eléctrica, y para hacerlo se debe realizar un contrato anual y por una potencia establecida. Aún cuando en invierno se tenga capacidad para cubrir más horas, no será posible debido a la potencia contratada con la empresa eléctrica.

Por la falta de utilización de la capacidad de la planta, existe una pérdida de consumo que se debe tener en cuenta.

**Tabla#18: Pérdidas por falta de consumo**

<b>Pérdidas por falta de consumo</b>		
<b>Pérdidas</b>	<b>Verano</b>	<b>Invierno</b>
<b>Generación diaria kwh</b>	2450,66	2450,66
<b>Demanda diaria kwh</b>	2201,09	1339,73
<b>Pérdida diaria por falta de consumo en kwh</b>	249,57	1110,93
<b>Pérdida diaria por falta de consumo Q/kwh (1.55 de quetzal el kwh)</b>	Q 386,84	Q 1.721,95
<b>Pérdida mensual por falta de consumo Q/kwh (1.55 de quetzal el kwh)</b>	Q 11.605,12	Q 51.658,36
<b>Pérdida semestral por falta de consumo Q/kwh (1.55 de quetzal el kwh)</b>	Q 69.630,73	Q 309.950,17
<b>Pérdida anual Q/kwh (1.55 de quetzal el kwh)</b>	Q 379.580,90	

La demanda restante que será surtida por la empresa es la de la casa patronal. La demanda para la casa es de 16,000 kWh de consumo anual, lo que representa un total de Q. 24,000.00.

### C. Costos de operación

El proyecto tiene costos de operación bajos debido a que hay una reducción considerable de dos de los rubros más altos en costos operativos: electricidad y mano de obra. Los costos se calcularon con incrementos anuales por diez años.

**Tabla #19: Costos de operación**

Costos de operación		
Operación	Gasto anual (Q)	Incremento
Mano de obra anual	Q 40.800,00	7%
Electricidad fija anual	Q 24000,00	1,43%
Agua anual	Q 4.000,00	5,39%
Mantenimiento anual	Q 1.500,00	5,39%
Administrativos anual	Q 10.000,00	7%

El incremento anual que se hizo por mano de obra y cargos administrativos fue del 7% asumiendo un aumento salarial anual.

La finca cuenta con 6 pozos de agua para abastecer sus necesidades diarias. Para calcular el costo se tomó el mantenimiento de las bombas de agua anual y se incrementó cada año un 5.39%<sup>10</sup> que es la tasa de inflación interanual del año pasado en el mes de diciembre. Al mantenimiento también se le incrementó el mismo porcentaje de inflación.

**Tabla #20: Tasa de inflación**

AÑO	Mes	ÍNDICE	Variaciones		
			Mensual 1 <sup>o</sup>	Acumulada 2 <sup>o</sup>	Interanual 3 <sup>o</sup>
2010	Enero	184,80	1,29	1,29	1,43
	Febrero	185,60	0,43	1,73	2,48
	Marzo	187,75	1,16	2,91	3,93
	Abril	187,56	-0,10	2,81	3,75
	Mayo	187,37	-0,10	2,70	3,51
	Junio	188,31	0,50	3,22	4,07
	Julio	189,02	0,38	3,61	4,12
	Agosto	189,10	0,04	3,65	4,10
	Septiembre	189,65	0,29	3,95	3,76
	Octubre	190,65	0,53	4,50	4,51
	Noviembre	192,12	0,77	5,31	5,25
	Diciembre	192,28	0,08	5,39	5,39

<sup>10</sup> INE [www.ine.gob.gt](http://www.ine.gob.gt)

El monto de la electricidad se sacó con los cálculos de la demanda (ver Tabla # 17) y se le hizo un incremento anual de 1,43% asumiendo un incremento en el costo del Q/kwh anual.

## VIII. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

### A. Cálculo de flujo de efectivo

Para calcular los flujos de efectivo primero se calcularon las anualidades de los costos operativos y de la producción anual con el precio del kWh con los incrementos establecidos anteriormente (ver anexo #3).

El precio del Q/ kWh se calculó tomando el último precio del 11 de abril del 2011 que fue de 1.55 Q/ kWh y se le sumó un incremento de 1.43%, que es un promedio de las variaciones entre los años 2008 al 2011. Se hizo de esta manera ya que las tarifas del precio de la electricidad las regulan y define la CNEE y para esto toma en cuenta los costos proyectados de generación y los costos proyectados de los combustibles que usaron las generadoras para transformar la energía. Después ajustan estos datos con la realidad y por eso es que varían las tarifas trimestralmente.

Luego de calcular las anualidades se procedió al cálculo de los ingresos totales y los egresos totales. Para los ingresos se tomó la demanda de la empresa satisfecha con la planta de biogás (ver Tabla #17) o el ahorro de combustibles que hubo con la sustitución de los motores actuales a motores de biogás. Para el ahorro de combustibles se tomó el precio de diésel y gas propano del 21 de marzo del 2011 de la Gráfica # 5. Después se varió anualmente con un incremento de 5.15% que se sacó con el promedio de variaciones de los últimos 15 años.

**Tabla # 21: Total de consumo energético**

<b>Total de consumos energético</b>				
<b>Fuente de energía</b>	<b>Consumo mensual</b>	<b>Unidades</b>	<b>Precio (Q)</b>	<b>Ahorro (Q)</b>
Diesel	2280	galones	31,671	72,209,88
Gas	60	libras	4,93425	296,055
<b>TOTAL DE AHORRO ANUAL EN COMBUSTIBLES</b>				<b>72505,935</b>

En los egresos se pusieron todos los costos operativos y los gastos que conlleva el proyecto. Para los ingresos se pusieron los ahorros en combustible y en energía eléctrica.

Próximo a los ingresos y egresos se sacó la utilidad neta, que para este proyecto es exactamente las mismas que la utilidad bruta. Esto se debe a la falta de impuesto de acuerdo al artículo 5 de la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable, Decreto 52-2003 del Congreso de la República los proyectos de este tipo están exentos de ISR, IVA y aranceles por 10 años<sup>11</sup>. A continuación se encuentra una tabla resumen o ver anexo # 2.

**Tabla # 22: Utilidad neta**

<b>Año</b>	<b>Ingresos totales</b>	<b>Egresos totales</b>	<b>Utilidad neta</b>
<b>1</b>	Q1.060.395,72	Q459.880,90	Q600.514,82
<b>2</b>	Q1.078.257,58	Q464.076,55	Q614.181,04
<b>3</b>	Q1.096.513,76	Q468.542,00	Q627.971,76
<b>4</b>	Q1.115.177,05	Q473.295,62	Q641.881,43
<b>5</b>	Q1.134.260,80	Q478.357,02	Q655.903,78
<b>6</b>	Q1.153.778,92	Q483.747,19	Q670.031,73
<b>7</b>	Q1.173.745,95	Q489.488,55	Q684.257,40
<b>8</b>	Q1.194.177,04	Q495.605,07	Q698.571,97
<b>9</b>	Q1.215.088,03	Q502.122,40	Q712.965,64
<b>10</b>	Q1.236.495,46	Q509.067,93	Q727.427,53

Luego se armó el flujo de efectivo, teniendo en el año cero la inversión inicial y en los demás años la diferencia de ingresos y egresos.

**Tabla # 23: Flujo de efectivo**

<b>Flujo de efectivo</b>			
<b>Años</b>	<b>Ingresos</b>	<b>Egresos</b>	<b>Flujo de efectivo</b>
0		Q1.159.771,76	Q(1.159.771,76)
1	Q1.060.395,72	Q 459.880,90	Q 600.514,82
2	Q1.078.257,58	Q 464.076,55	Q 614.181,04
3	Q1.096.513,76	Q 468.542,00	Q 627.971,76
4	Q1.115.177,05	Q 473.295,62	Q 641.881,43
5	Q1.134.260,80	Q 478.357,02	Q 655.903,78
6	Q1.153.778,92	Q 483.747,19	Q 670.031,73

<sup>11</sup> Referirse al tema de leyes en energías renovables página 52

**Continuación Tabla#23: Flujo de efectivo**

Flujo de efectivo			
Años	Ingresos	Egresos	Flujo de efectivo
7	Q1.173.745,95	Q 489.488,55	Q 684.257,40
8	Q1.194.177,04	Q 495.605,07	Q 698.571,97
9	Q1.215.088,03	Q 502.122,40	Q 712.965,64
10	Q1.236.495,46	Q 509.067,93	Q 727.427,53

**B. TMAR (tasa mínima atractiva de retorno)**

La TMAR es la Tasa Mínima Atractiva de Retorno que exige el inversionista al proyecto por los recursos invertidos, ya que está retractándose de otras alternativas con riesgos similares en donde podría invertir sus fondos. En otras palabras, es la rentabilidad mínima que se le exigirá al proyecto.

En este proyecto la TMAR fue determinada por la gerencia de la empresa en donde se realizó el estudio. Los ejecutivos establecieron una *TMAR del 20% después de impuestos* ya habiendo considerado el riesgo y la tasa de inflación.

Para finalidad del proyecto se consideró solamente un escenario para realizar la inversión inicial, que consta 100% de capital propio de la empresa.

**C. Evaluación del proyecto**

Para evaluar el proyecto se usó la TMAR antes de impuestos establecida por la empresa y los criterios de TIR (Tasa Interna de Retorno), PRI (Periodo de Recuperación) y VPN (Valor Presente Neto).

**1. El criterio de la TIR.** Ésta es la tasa de interés con la cual el valor presente neto es igual a cero. Es un indicador de rentabilidad del proyecto y se compara con la TMAR. Bajo este criterio mientras más alta sea la TIR en comparación con la TMAR el rendimiento será mayor.

El cálculo de la TIR, a partir del flujo de efectivo neto e inversión inicial proyectados al año 10, para el proyecto se muestra en la tabla a continuación.

**Tabla # 24: TIR**

<b>Años</b>	<b>Flujo de efectivo neto</b>
0	Q-1.159.771,76
1	Q 600.514,82
2	Q 614.181,04
3	Q 627.971,76
4	Q 641.881,43
5	Q 655.903,78
6	Q 670.031,73
7	Q 684.257,40
8	Q 698.571,97
9	Q 712.965,64
10	Q 727.427,53
<b>TIR</b>	<b>53,09%</b>
<b>VPN</b>	1537206,358

La TIR fue mayor a la TMAR del 20%, siendo esta de un 53.09%.

**2. Los criterios de PRI y VPN.** El primer criterio de PRI consiste en ver el tiempo en años que se tardará el proyecto en recuperar la inversión. Usualmente este criterio es subjetivo, ya que depende de los criterios de toma de decisión que tenga la empresa.

El segundo criterio de VPN consiste en compara la inversión inicial contra los flujos de efectivo llevados al año cero. Bajo este criterio, si el resultado es mayor que cero se concluye que es un proyecto económicamente rentable. Para este cálculo se utilizó el flujo de efectivo proyectado a 10 años y la TMAR del 20%. Los resultados se muestran en la tabla # 25.

Los cálculos para determinar el VPN se realizaron proyectando los flujos de efectivo por 10 años utilizando la TMAR, después se llevaron los flujos al valor presente y se le resto la inversión inicial. El resultado que se obtuvo fue el VPN y dio como resultado un valor mayor que cero de Q. 1.537.206,36 .

En los flujos proyectados acumulados se puede notar que a partir del cuarto año de operación del proyecto, después de haber realizado la inversión inicial, el valor presente queda positivo. Esto quiere decir que la recuperación de la inversión inicial para el proyecto de biodigestor será hasta el tercer año.

Tabla #25: Evaluación del proyecto con VPN y PRI

Evaluación del proyecto				
Años	Inversión inicial	Flujo de efectivo	VP	VP Acumulado
<b>10 años VP</b>		<b>Q 1.537.206,36</b>		
0	Q 1.159.771,76	Q 1.159.771,76	Q 1.159.771,76	Q (1.159.771,76)
1		Q 600.514,82	Q500.429,02	Q (659.342,74)
2		Q 614.181,04	Q426.514,61	Q (232.828,14)
3		Q 627.971,76	Q363.409,58	Q 130.581,45
4		Q 641.881,43	Q309.549,30	Q 440.130,75
5		Q 655.903,78	Q263.593,02	Q 703.723,77
6		Q 670.031,73	Q224.392,27	Q 928.116,04
7		Q 684.257,40	Q190.963,68	Q 1.119.079,72
8		Q 698.571,97	Q162.465,51	Q 1.281.545,23
9		Q 712.965,64	Q138.177,52	Q 1.419.722,75
10		Q 727.427,53	Q117.483,61	Q 1.537.206,36

## IX. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

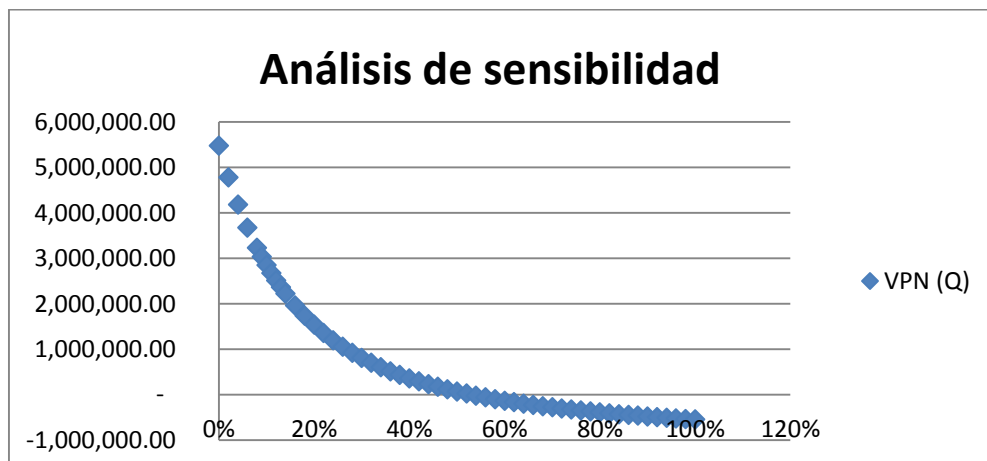
El análisis de sensibilidad es una herramienta financiera que sirve para mostrar el efecto sobre la TIR del proyecto. Este análisis consiste en hacer variar las variables que se crean son más susceptibles al cambio, como la TMAR, VPN y otras, con el fin de compararlas y analizar los cambios.

Para el proyecto se varió el valor presente neto de los flujos de efectivo con la TIR. Esto demuestra cómo la variación porcentual en la del valor presente neto de los flujos de efectivo afecta en las tasas de interés. Se demostró que después de una tasa del 52% el valor presente neto se vuelve negativo.

Esto quiere decir que si varía la tasa de rendimiento a menos del porcentaje mencionado anteriormente, la inversión producirá ganancias por debajo de las requeridas o bien podría generar pérdidas.

A continuación en la Gráfica #7 se muestra cómo a partir de la variación de la TIR el valor presente neto se vuelve negativo.

**Gráfica# 7: Análisis de sensibilidad de flujo de efectivo y tasa de interés**



## X. CONCLUSIONES

Este proyecto es económicamente rentable y se comprueba con los resultados obtenidos. Es atractivo ya que tiene una tasa interna de retorno de 53.09% mayor a la tasa mínima atractiva de retorno del 20% requerida por la empresa. Posee un Valor Presente Neto mayor a cero de Q. 1,537,206.36.

Para el proyecto se seleccionó el biodigestor tipo laguna con membrana de caucho debido a que es la estructura utilizada y recomendada para tratar desechos orgánicos de ganado. Es de fácil manejo, de bajo costo de mantenimiento y el material del biodigestor en sí es más barato que los otros hechos de acero, ladrillo refractario, cemento o tanques plásticos. A diferencia de los otros biodigestores, este trabaja perfectamente expuesto a temperaturas como las que tiene la finca (30-35C), evitando el uso de calentadores internos y sistemas de costos elevados.

El biodigestor será alimentado únicamente con la excreta de los 537 búfalos de la finca. Los búfalos tiene la capacidad de excretar hasta el 10% de kg por peso vivo, de esta forma se calculó que la excreta diaria será de 10,386.36 kg.

Los insumos totales que ingresan al digestor están compuestos de esa excreta y de agua. El método para la recolección de la excreta será por permanencia del ganado en el establo. La mezcla se limpiará con mangueras con un caudal de 1.25 litro por segundo por 480 minutos diarios, para obtener los 36 m<sup>3</sup> de agua necesarios. Luego se planificó poner esta mezcla en tanques auxiliares en donde se homogenizará la mezcla para pasar después al biodigestor.

La inversión inicial del proyecto es de Q1,157,750.76 este monto toma en cuenta el material y equipo para la instalación del proyecto, asesoría de instalación, laboratorios y estudios para la caracterización de excreta y gastos de contingencia. Para el ahorro de proyecto se tomo el combustible que fue sustituido por la planta y la electricidad que consume la finca a partir del biogás. En el primer año el ahorro fue de Q 1.060.395,72 con un incremento anual de 5.15% por la variación del precio del petróleo y un 1.43% por el precio del Q/kwh.

El proyecto de biodigestor para la producción de electricidad recupera la inversión inicial en un periodo de cuatro años.

El impacto ambiental del proyecto radica en la disminución de gases efecto invernadero en la atmosfera, principalmente el CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>. El beneficio se obtiene principalmente de no dejar que la descomposición de la excreta se dé al aire libre, sino en un contenedor herméticamente cerrado en donde se pueda aprovechar como energía. En cuanto al impacto social, se tendrán que ajustar los métodos de trabajos anteriores a los requerimientos actuales. Lo más importante es involucrar al personal de tal manera que crean en el proyecto.

## **XI. RECOMENDACIONES**

Es de vital importancia comunicar a los trabajadores el objetivo del proyecto y sus labores específicas. Especialmente en el área de recolección de mezcla, ya que se debe utilizar la cantidad de agua establecida para el buen funcionamiento del biodigestor

Se recomienda establecer horarios de supervisión para la mezcla y los instrumentos de medición. De esta manera se tiene siempre los parámetros de la excreta y el gas dentro de los parámetros descritos en el trabajo.

El volumen del biodigestor se estimó para la cantidad de ganado que se tiene en la empresa, si en un futuro se quisiera adquirir más ganado e incorporarlo al proyecto actual se debe de ampliar el biodigestor. Para escoger la ubicación de la planta se tomó en consideración una expansión a futuro.

Se necesita un equipo experto para la instalación de los equipos y principalmente para la implementación del reactor digestor. Se tiene que supervisar las tuberías y el sellado de los forros. Es recomendable que a la hora de hacer este paso se tenga asesoría.

Para aprovechar toda la capacidad de generación de energía eléctrica del biodigestor se recomienda evaluar la posibilidad de vender energía eléctrica a los alrededores de la finca o hacer una mejor distribución de la utilización de los recursos para cubrir la demanda en las 14 horas de producción de la planta.

El equipo de seguridad no es necesario para la producción de biogás, sin embargo es muy importante tanto para la seguridad de los trabajadores como del proyecto. Si se decidiera no complementar estas medidas el proyecto estaría automáticamente rechazado para gozar de los beneficios de la ley por ser proyecto de energía renovable.

## XII. BIBLIOGRAFÍA

- Barnett, Andrew; P. Leo y S.K Subramanian. 1978. *Biogas technology in the third world*. Multidisciplinary Review. Ottawa, Ont.IDRC.132 págs.
- *Design and management of anaerobic lagoons in Iowa for animal manure storage and treatment*. Livestock industry facilities and environment.10 paginas
- Dreublein, Dieter y Steinhauser, Angelika.2008. *Biogas from waste and renewable resources*. Germany. WILEY.VCH.443 págs.
- Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial.1988. *ICAITI aprovechamiento energético de biogás*. Informe técnico. Guatemala, Guatemala. ICAITI.48 págs.
- Madrid, Antonio.2009. *Energías renovables. Fundamentos, tecnología y aplicaciones*. 1ª ed. Madrid, AMV ediciones/Mundi-prensa. 379 págs.
- Mongayo, Gabriel. 2010. *Biodigestores manual práctico. Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás*. Aqualimpia beratende ingenireu.528 págs. LIBRO
- Pfost,Donald. Fulhage, Charles. *Anaerobic lagoons for storage treatment of livestock manure*. University of Missouri-Columbia. 8 paginas.
- Sofer, S.Samir y Zabrosky, R. Oskar.1981.*Biomass conversion processes for energy and fuels*.New york, Plenium press.420 págs.
- Viquez A., Joaquin. 2009. *Producción y caracterización de excreta, un paso esencial para el buen uso de este recurso en fincas lecheras*. Revista ECAG(Costa Rica).Nº 49: 54-56.

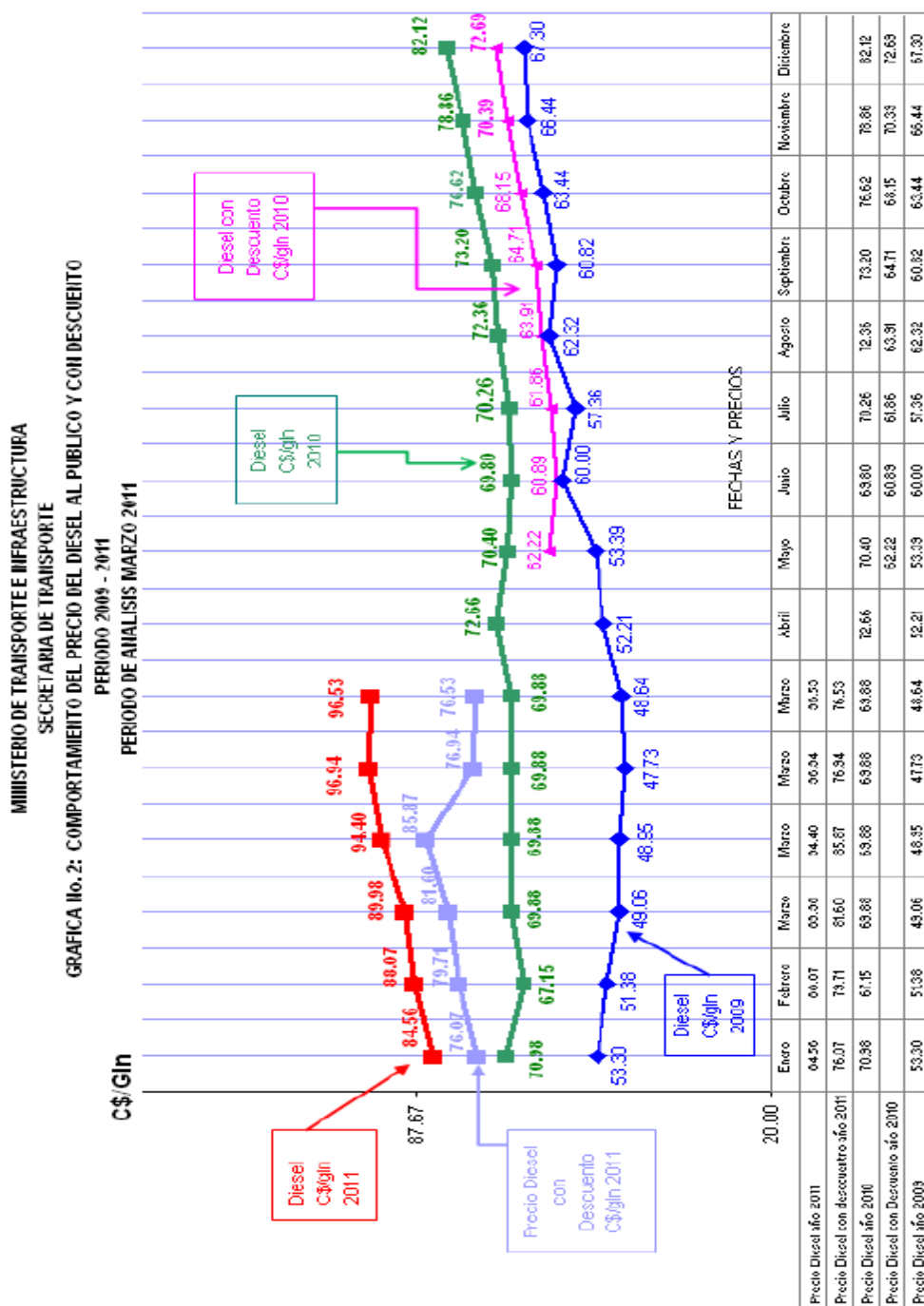
- Viquez A., Joaquin. 2009. *Comparación de tres métodos de separación de sólidos para excreta, en fincas lecheras. Un paso para el tratamiento y aprovechamiento de las aguas residuales en la producción animal.* Revista ECAG(Costa Rica).Nº 47: 40-44.
- Viquez A., Joaquin. 2010. *¿Cómo diseñar un biodigestor para lecherías?* Revista ECAG (Costa rica). Nº 51: 61-64.
- Viquez A., Joaquin. 2009. *Biogás energía recuperable.* Revista ECAG (Costa rica). Nº 50: 24-27.
- Viquez A., Joaquin. 2010. *Generación eléctrica con biogás. Una alternativas de ahorro para granjas lecheras y porcinas.* Revista ECAG (Costa rica). Nº 52: 13-19.

#### **A. Referencias de internet**

- Administrador del Mercado mayorista AMM. Normas de coordinación y operativa. [www.amm.org.gt](http://www.amm.org.gt)
- Guatemala.2011. banco de Guatemala. Tipo de cambio de referencia. Ciudad de Guatemala. <http://www.banguat.gob.gt/cambio/>
- Instituto nacional de estadística. 2010. Inflacion interanual. [http://www.ine.gob.gt/descargas/IPC/IPC2011/INEGuatemala\\_IPC\\_MARZO\\_2011.pdf](http://www.ine.gob.gt/descargas/IPC/IPC2011/INEGuatemala_IPC_MARZO_2011.pdf)
- Ministerio de energía y minas. Ley de incentivos de energía renovable. <http://www.mem.gob.gt/Portal/Home.aspx?secid=15>
- Motores de biogas.<http://www.directindustry.com/prod/guascor-power/biogas-generator-sets-23116-434661.html>

## B. ANEXOS

### Anexo #1: Gráfica de comportamiento de diésel en Guatemala



\*Guatemala esta representado por la línea de tendencia de color verde.

**Anexo # 2: Ingresos y egresos**

Año	Ingresos totales		
	Ahorro de electricidad	Ahorro en combustibles	Ingresos totales
1	987888,78	72505,935	1060395,72
2	1002015,59	76239,9907	1078257,58
3	1016344,412	80166,3502	1096513,76
4	1030878,138	84294,9172	1115177,05
5	1045619,695	88636,1054	1134260,8
6	1060572,057	93200,8649	1153778,92
7	1075738,237	98000,7094	1173745,95
8	1091121,294	103047,746	1194177,04
9	1106724,328	108354,705	1215088,03
10	1122550,486	113934,972	1236495,46

Año	Egresos totales						
	Cargos administrativos	Electricidad fija	Perdida por falta de consumo	Agua	Mano de obra	Mantenimiento	Egresos totales
1	10000	24000	379580,895	4000	40800	1500	459880,895
2	10700	24343,2	379580,895	4215,6	43656	1580,85	464076,545
3	11449	24691,3078	379580,895	4442,82084	46711,92	1666,05782	468542,001
4	12250,43	25044,3935	379580,895	4682,28888	49981,7544	1755,85833	473295,62
5	13107,9601	25402,5283	379580,895	4934,66425	53480,4772	1850,4991	478357,024
6	14025,51731	25765,7844	379580,895	5200,64266	57224,1106	1950,241	483747,191
7	15007,30352	26134,2352	379580,895	5480,9573	61229,7984	2055,35899	489488,548
8	16057,81476	26507,9547	379580,895	5776,38089	65515,8842	2166,14284	495605,072
9	17181,8618	26887,0185	379580,895	6087,72783	70101,9961	2282,89793	502122,397
10	18384,59212	27271,5028	379580,895	6415,85635	75009,1359	2405,94613	509067,928

## Anexo # 3: Anualidades

Año	Costo de inversión	Producción anual kWh	Precio de Q/kWh ahorrado	Ahorro en combustible	Administrativos al año	Electricidad fija	Agua	Mano de obra	Mantenimiento	Pérdida por falta de consumo anual
0	Q 1.159.771,76									
1		637347,6	1,55	Q 72.505,94	Q10.000,00	Q24.000,00	Q 4.000,00	Q40.800,00	Q1.500,00	Q 379.580,90
2		637347,6	1,572165	Q 76.239,99	Q10.700,00	Q24.343,20	Q 4.215,60	Q43.656,00	Q1.580,85	Q 379.580,90
3		637347,6	1,594647	Q 80.166,35	Q11.449,00	Q24.691,31	Q 4.442,82	Q46.711,92	Q1.666,06	Q 379.580,90
4		637347,6	1,61745	Q 84.294,92	Q12.250,43	Q25.044,39	Q 4.682,29	Q49.981,75	Q1.755,86	Q 379.580,90
5		637347,6	1,64058	Q 88.636,11	Q13.107,96	Q25.402,53	Q 4.934,66	Q53.480,48	Q1.850,50	Q 379.580,90
6		637347,6	1,66404	Q 93.200,86	Q14.025,52	Q25.765,78	Q 5.200,64	Q57.224,11	Q1.950,24	Q 379.580,90
7		637347,6	1,687836	Q 98.000,71	Q15.007,30	Q26.134,24	Q 5.480,96	Q61.229,80	Q2.055,36	Q 379.580,90
8		637347,6	1,711972	Q 103.047,75	Q16.057,81	Q26.507,95	Q 5.776,38	Q65.515,88	Q2.166,14	Q 379.580,90
9		637347,6	1,736453	Q 108.354,70	Q17.181,86	Q26.887,02	Q 6.087,73	Q70.102,00	Q2.282,90	Q 379.580,90
10		637347,6	1,761285	Q 113.934,97	Q18.384,59	Q27.271,50	Q 6.415,86	Q75.009,14	Q2.405,95	Q 379.580,90

## Anexo # 4: Cotización de asesoría

Estimada Jesica Cordero

Gracias por contactarse con IFBIO.

Con respecto a su consulta le comento:

Desde IFBIO podemos ofrecerle, si Ud. nos facilita ciertos datos de los residuos generados en su finca ganadera, el servicio de dimensionamiento y cálculo del Biodigestor, en donde le enviamos un documento con toda la instalación detallada, Lista de Materiales, planos de construcción ( Ver ejemplos anexos) e instrucciones para su puesta en marcha y funcionamiento.

La construcción del mismo puede hacerle un Técnico Constructor, junto a un albañil, y un plomero. Asi mismo se envía un Manual de Operación para puesta en funcionamiento y mantención del Biodigestor.

El costo de este servicio y asesoría es de **USD 985,00** (dólares estadounidenses) por depósito bancario.

desde ya, un cordial saludo  
a su disposición



Ing. Mauro Barberis

Cel.(54) 03543 15587194

[mbarberis@ifbio.com.ar](mailto:mbarberis@ifbio.com.ar)

SKYPE: mauro\_barberis

LinkedIn: <http://ar.linkedin.com/pub/mauro-barberis/22/65b/1a1>

**Anexo # 5: Cotizaciones de mezcladora**  
 \*Se usó otra cotización de mezcladora para este trabajo



Estado de México a 05 de abril 2011

**JESSICA CORDERO**  
[Jecca15@gmail.com](mailto:Jecca15@gmail.com)  
 Guatemala

Por medio de la presente le enviamos cotización de nuestros productos marca **Collomix**, solicitada a nuestro departamento de ventas.

CAT	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	PRECIO U. EN DOLARES USD
CX-60	Mezcladora de 1400w, de 0 a 500RPM y 0 a 350RPM, 2 velocidades c/aspa MK-160, Capacidad de mezclado de 90lts (Se utiliza para mortero, pavimento, sustancias con alto contenido de cuarzo)	819.00
41 779	Aspa de acero inoxidable MK-160N	143.00
	Flete	150.00


Descuento: Aplicados  
 Tiempo de Entrega: Inmediata  
 Condiciones de Pago: Depósito o transferencia bancaria

Sin más por el momento y agradeciendo la atención a la presente, quedamos a sus órdenes para cualquier aclaración.

**Nota:** Lo invitamos a visitar nuestra pagina en Internet [www.industrialar.com.mx](http://www.industrialar.com.mx) para que obtenga más información de nuestros productos.

**Ing. Aminadab Garcia**

## Anexo #6: Cotización tubería

 <b>INSTALACIONES MODERNAS</b>							
<b>03 Septima Avenida</b> 7a. Avenida 5-45, Zona 4 2332-5861 <a href="mailto:secretariaseptima@instalacionesmodernas.com">secretariaseptima@instalacionesmodernas.com</a>		FECHA: 05/04/2011 COTIZACIÓN No. 46359 FORMA DE PAGO: 2-Cheque VALIDEZ: 10/04/2011					
<b>DATOS</b>							
Cliente: <b>Jessica Cordero</b>		NIT: <b>CF</b>					
Contacto:							
Dirección: <b>CIUDAD</b>							
E-mail:							
Teléfono:				Celular:			
Con el fin de poder servirle, a continuación detallo la cotización solicitada:							
Código	Descripción	Precio unitario	% Des	Descuento	Cantidad	TOTAL	
003022	Tubo 6" T6Metro PVC 125 Psi	Q1.245,16	40,00	Q498,06	1	Q747,10	
013017	Tubo 10" 125 psi PVC (T6mtr)	Q3.192,58	45,00	#####	1	Q1.755,92	

**multitubo, s.a.**

su mejor opción en pvc

 3a. Avenida 2-42 Zona 13  
 Ciudad de Guatemala, Guatemala, C.A.  
 PBX: (502) 2472-0992 FAX: (502) 2440-6139

**COTIZACION No. 4993**
**NOMBRE:** LAS PALMAS, S.A.

**CODIGO:** 958 **FECHA:** 05/04/2011

**DIRECCION:** 3A. AVE 4-10, ZONA 9

**NIT:** 522191-9 **TEL:** 23603819/29

ATENCION A: JESSICA CORDERO

No.	UNID. PEDIDAS	CODIGO	DESCRIPCION	Precio Unitario	Importe Total
1	1	T0222111BL	TUBO 6" x 80 PSI (SDR 51.0), 6 MT. J/C	318.60001	318.60
2	1	T0226111BL	TUBO 10" x 80 PSI (SDR 51.0), 6 MT. J/C	910.08004	910.08

### Anexo#7: Cotización membranas de caucho



CÓDIGO	ESPEJOR (mm)	BOBINAS DE	UDS/EMB PALET	PRECIO €/m <sup>2</sup>
LBUB08R	0,75	1,70 x 20 m, 34 m <sup>2</sup>	816 m <sup>2</sup> , 24 BOBINAS	5,74
LBUB10R	1,0		816 m <sup>2</sup> , 24 BOBINAS	6,75
LBUB12R	1,2		680 m <sup>2</sup> , 20 BOBINAS	8,84
LBUB15R	1,5		680 m <sup>2</sup> , 20 BOBINAS	Consultar