

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



**TRABAJO DE GRADO:**

“DISEÑO DE BIODIGESTOR FAMILIAR PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOL A PARTIR DE EXCRETAS DE GANADO EN EL MUNICIPIO DE CHALCHUAPA, DEPARTAMENTO DE SANTA ANA”

**PRESENTADO POR:**

CARLOS WILVER SERRANO LÓPEZ  
JORGE JOSÉ MENDOZA DERAS  
MARVIN ALEXANDER MONROY GONZÁLEZ

**PARA OPTAR AL GRADO DE:**  
INGENIERO CIVIL

**DOCENTE DIRECTOR:**

ING. MAX ADALBERTO HERNANDEZ RIVERA

SEPTIEMBRE DE 2017

**SANTA ANA EL SALVADOR CENTROAMERICA**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**AUTORIDADES CENTRALES**

LCDO. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

**RECTOR**

DR. MANUEL DE JESÚS JOYA

**VICE-RECTOR ACADÉMICO**

ING. CARLOS ARMANDO VILLALTA

**VICE-RECTOR ADMINISTRATIVO (INTERINO)**

LICDO. CRISTÓBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ

**SECRETARIO GENERAL**

MSC. CLAUDIA MARÍA MELGAR DE ZAMBRANA

**DEFENSORA DE LOS DERECHOS UNIVERSITARIOS**

LCDO. RAFAEL HUMBERTO PEÑA MARIN

**FISCAL GENERAL**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE**

**AUTORIDADES**

MSC. RAÚL ERNESTO AZCÚNAGA LÓPEZ

**DECANO**

ING. ROBERTO CARLOS SIGÜENZA CAMPOS.

**VICEDECANO**

MSC. DAVID ALFONSO MATA ALDANA

**SECRETARIO DE LA FACUTAD**

ING. DOUGLAS GARCÍA RODEZNO

**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

## INDICE

CONTENIDO .....	PAGINA
I. DESCRIPCIÓN DEL TEMA .....	12
II. INTRODUCCIÓN.....	13
CAPITULO I: CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.1 ANTECEDENTES.....	14
1.1.1 HISTORIA DEL BIOGÁS EN EL MUNDO.....	14
1.1.2 HISTORIA DEL BIOGAS EN EL SALVADOR.....	15
1.1.2.1 COMUNIDAD LOS MARRANITOS.....	15
1.1.2.2 FAMILIAS EN SANTO DOMINGO DE GUZMÁN, SAN PEDRO PUXTLA Y GUAYMANGO HAN CONSTRUIDO BIODIGESTORES.....	16
1.2 ORIGEN EL BIOL.....	18
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	19
1.3.1 DEMANDA DE PRODUCTOS FORESTALES.....	21
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	23
1.5 OBJETIVOS.....	24
1.5.1 OBJETIVO GENERAL.....	24
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
1.6 ALCANCES GLOBALES .....	25
CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL .....	26
2.1 MARCO TEÓRICO.....	26
2.1.1 CAMBIO CLIMÁTICO.....	26
2.1.1.1 EFECTO INVERNADERO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO.....	26
2.1.2 ENERGÍA RENOVABLE.....	27
2.1.3 ENERGÍA DE LA BIOMASA.....	28
2.1.4 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE .....	28
2.1.4.1 OBJETIVO 11: LOGRAR QUE LAS CIUDADES Y LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS SEAN INCLUSIVOS, SEGUROS, RESILIENTES Y SOSTENIBLES .....	29

2.1.4.2	OBJETIVO 13: ADOPTAR MEDIDAS URGENTES PARA COMBATIR EL CAMBIO CLIMÁTICO Y SUS EFECTOS .....	30
2.1.4.3	OBJETIVO 15: GESTIONAR SOSTENIBLEMENTE LOS BOSQUES, LUCHAR CONTRA LA DESERTIFICACIÓN, DETENER E INVERTIR LA DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS Y DETENER LA PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD.....	31
2.1.5	BIOGAS .....	32
2.1.5.1	PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.....	32
2.1.5.2	EL BIOGÁS POR DESCOMPOSICIÓN ANAERÓBICA .....	33
2.1.5.2.1	BENEFICIOS ASOCIADOS A LA DIGESTIÓN ANAEROBIA. ....	33
2.1.5.3	USOS DEL BIOGÁS.....	34
2.1.5.4	POTENCIAL ENERGÉTICO DEL BIOGÁS .....	35
2.1.5.5	MÚLTIPLES BENEFICIOS PARA EL MEDIO AMBIENTE DEL USO DEL BIOGAS.....	35
2.1.6	BIOL .....	36
2.1.6.1	VENTAJAS Y DESVENTAJA DEL BIOL .....	37
2.1.6.1.1	VENTAJAS.....	37
2.1.6.1.2	DESVENTAJA.....	38
2.1.7	BIÓDIGESTORES.....	38
2.1.7.1	VENTAJAS DEL USO DE BIODIGESTORES .....	39
2.1.7.2	TIPOS DE BIODIGESTORES .....	40
2.1.7.3	MODELO DE BIODIGESTOR FAMILIAR PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOL ....	41
2.1.7.3.1	CONCEPTOS EN EL DISEÑO DE UN BIODIGESTOR FAMILIAR .....	41
2.1.7.3.2	DIGESTIÓN ANAEROBIA. ....	42
2.1.7.3.3	BENEFICIOS AMBIENTALES DE LA BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA. ....	43
2.1.7.3.4	RELACIÓN CARBONO POR CADA PARTE DE NITRÓGENO DE LAS MATERIAS PRIMAS.....	44
2.1.7.3.5	TEMPERATURA Y TIEMPO DE RETENCIÓN.....	45
2.1.7.3.6	ESTIÉRCOL DISPONIBLE .....	46
2.1.7.3.7	CARGA DE MEZCLA DIARIA DE ENTRADA. ....	47
2.1.7.3.8	VOLUMEN TOTAL DE BIODIGESTOR. ....	49
2.1.7.3.9	VOLUMEN LÍQUIDO. ....	49
2.1.7.3.10	VOLUMEN GASEOSO.....	50
2.1.7.3.11	PRODUCCIÓN DE BIOGÁS. ....	50

2.1.7.3.12	CONSUMO DE BIOGÁS.....	51
2.1.7.3.13	PRODUCCIÓN DE FERTILIZANTE.....	52
2.1.7.3.14	APLICACIONES DEL FERTILIZANTE.....	53
2.2	MARCO JURÍDICO.....	54
2.2.1	CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DE EL SALVADOR.....	54
2.2.2	LEY DE MEDIO AMBIENTE.....	54
2.2.3	CÓDIGO DE SALUD.....	58
2.2.4	REGLAMENTO ESPECIAL PARA EL MANEJO INTEGRAL DE LOS DESECHOS SÓLIDOS.....	59
CAPITULO III: DISEÑO DE BIODIGESTOR FAMILIAR PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOL.....		61
3.1	DISEÑO DEL BIODIGESTOR.....	61
3.1.1	DISEÑO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL.....	61
3.1.2	LONGITUD DE ZANJA.....	67
3.1.2.1	DIMENSIONAMIENTO DE PRUEBA PILOTO.....	69
3.1.3	LONGITUD DE BIOBOLSA.....	72
3.1.3.1	EQUILIBRIO HIDRÁULICO.....	74
3.2	CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR.....	74
3.2.1	CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR.....	75
3.2.1.1	DESCRIPCIÓN DE EQUIPO Y MATERIALES.....	75
3.2.1.2	PASOS PARA LA ELABORACION Y COLOCACION DEL BIODIGESTOR FAMILIAR.....	77
CAPÍTULO IV: PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....		90
4.1	ACTIVIDADES DEL PROYECTO.....	90
4.2	MEMORIA DE CÁLCULO.....	90
4.2.1	CHAPEO Y LIMPIEZA DE LA ZONA DE CONSTRUCCIÓN.....	90
4.2.2	TRAZO Y NIVELACIÓN.....	90
4.2.3	EXCAVACIÓN DE CANALETA.....	90
4.2.4	CONSTRUCCIÓN DE CAJAS DE ENTRADA Y SALIDA.....	91
4.2.5	BASE DE ARENA.....	91
4.2.6	CONSTRUCCIÓN DE SISTEMA BIOBOLSA.....	91
4.2.7	INSTALACIÓN DE TUBERÍA Y ACCESORIOS.....	91

4.2.8	CONSTRUCCIÓN DE COCINA.....	91
4.3	VOLÚMENES DE OBRA .....	92
4.3.1	PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....	93
5	CONCLUSIONES .....	94
6	RECOMENDACIONES.....	96
7	REFERENCIAS.....	97
8	ANEXOS .....	99
8.1	PLANO DEL DISEÑO .....	

## ÍNDICE DE ESQUEMAS

<i>Esquema 1. Forma básica de un biodigestor y del inicio de la conducción de biogás hacia la cocina.</i>	48
<i>Esquema 2. Se puede observar que el traslape para formar los cilindros será de 20 centímetros.</i>	61
<i>Esquema 3. La sección de la Zanja puede ser trapezoidal o rectangular.</i>	62
<i>Esquema 4. Área de cúpula preliminar.</i>	63
<i>Esquema 5. La resta del ancho de rollo menos traslape se le denominara como perímetro efectivo.</i>	63
<i>Esquema 6. El perímetro efectivo dependerá de la forma que se le haya proporcionado a la zanja.</i>	64
<i>Esquema 7. El área de cúpula es la que mantendrá contenido el biogás.</i>	65
<i>Esquema 8. La figura muestra como permanecerá instalado el biodigestor en el sitio.</i>	68
<i>Esquema 9. Esquema del sistema completo del biodigestor familiar, junto la con la conducción de biogás hasta la cocina, considerando la válvula de seguridad y el reservorio de biogás.</i>	75
<i>Esquema 10. Es muy importante colocar los tubos de entrada y salida para que el nivel del lodo sea óptimo. El nivel del lodo lo da la boca de salida, y tiene que ser equivalente a la profundidad de la zanja. El tubo de entrada se coloca de tal manera que la parte.</i>	85

## ÍNDICE DE FOTOS

<i>Foto 1. Biodigestor con el plástico cobertor dañado.</i>	16
<i>Foto 2. Promueven cocinas a base de gas de estiércol.</i>	17
<i>Foto 3. Sistema del biodigestor y cocina de biogás.</i>	18
<i>Foto 4. Se observa la carga de materia prima al biodigestor</i>	77
<i>Foto 5. Se observa la canaleta para la biobolsa.</i>	78
<i>Foto 6. Se observa el cortado del plástico nylon.</i>	79
<i>Foto 7. Se hace la marca de la pestaña a pegar.</i>	79
<i>Foto 8. Se realiza el pegado de las partes de plástico nylon.</i>	79
<i>Foto 9: Se forma los cilindros de plástico nylon.</i>	80
<i>Foto 10. Se mira la caja de descarga de materia prima.</i>	80
<i>Foto 11. Materiales de conexión de salida de tubería para salida de gas.</i>	81
<i>Foto 12. Se observa los elementos para la salida del gas.</i>	81
<i>Foto 13. Se observa el punto de instalación de la tubería para salida del gas.</i>	82
<i>Foto 14. Se prepara uno de los extremos de la biobolsa.</i>	83
<i>Foto 15. Se observa la biobolsa instalada desde la caja de entrada.</i>	84
<i>Foto 16. Se observa la carga de materia prima.</i>	86
<i>Foto 17. Se observa la caja de entrada con materia prima.</i>	86
<i>Foto 18. Se observa la caja de entrada con materia prima.</i>	88

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Imagen 1. Evolución de remesas, exportaciones de café y maquila, 1990-2000.....</i>	<i>20</i>
<i>Imagen 2 Esquema del sistema de generación de biogás y Biol.....</i>	<i>36</i>
<i>Imagen 3 S.F. Modelos de biodigestores. De izquierda a derecha se tiene el modelo chino, modelo manga de geo membrana y una planta de biometano .....</i>	<i>40</i>

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Proyectos Instalados de biodigestión anaerobia.</i>	15
<i>Tabla 2. Cambios en las principales fuentes de divisas, 1978 y 2000.</i>	20
<i>Tabla 3. Consumo domestica de leña en El Salvador.</i>	22
<i>Tabla 4. Tiempo de retención según temperatura.</i>	46
<i>Tabla 5. Producción de estiércol fresco diario.</i>	47
<i>Tabla 6. Producción de Biogás.</i>	51
<i>Tabla 7. Equivalencias energéticas del biogás.</i>	52
<i>Tabla 8. Tiempo de retención según temperatura para mejor fertilizante.</i>	53
<i>Tabla 9. Tabla con secciones recomendadas según ancho de rollo.</i>	66
<i>Tabla 10. Longitudes recomendadas dependiendo de su ancho de rollo</i>	69

## I. DESCRIPCIÓN DEL TEMA

El biogás, producto de la descomposición de materia orgánica, es un gas combustible, el cual puede ser usado para cocción de alimentos, calefacción y las múltiples aplicaciones que tiene los combustibles convencionales. Los sistemas de biodigestión junto a la producción de energía eléctrica a base de biogás son tecnologías aún prematuras a nivel nacional.

El biol, es elaborado a partir del estiércol de los animales. El proceso se realiza en un biodigestor, es un poco lento, pero da buen resultado; además de obtener un abono orgánico natural, es un excelente estimulante foliar para las plantas y un completo potenciador de los suelos. El procedimiento es sencillo y sobre todo económico: Se recoge el estiércol más fresco que hayan generado los animales y se coloca en un recipiente grande, con tapa hermética, se agrega agua, leche cruda, cortezas de frutas, hojas de ortiga, guabo y desechos orgánicos, mezclamos bien todos los ingrediente, luego agregamos a la tapa una manguera para el desfogue de gases. El proceso de maduración depende del clima, en zonas donde la temperatura sobrepasa los 30 grados Celsius el abono está listo para su destilación en 40 días, en zonas con climas relativamente menores su destilación se recomienda a los 60 días. El producto es una sustancia viscosa concentrada, para su aplicación se debe bajar en forma técnica su concentración.

Esta investigación busca reducir el deterioro ambiental mediante la disminución de emisiones gaseosas a la atmosfera generadas por el uso de la leña, para esto se diseñará un sistema familiar para producir biogás y biol por medio de un biodigestor utilizando excretas de ganado.

## II. INTRODUCCIÓN

El Cambio Climático es uno de los problemas ambientales más graves en el Mundo actual porque afecta a todo el planeta, el cual por sus enormes efectos no se puede detener por sí solo.

El clima determina las condiciones de vida: las posibilidades de alimentación, la actividad económica en general y la seguridad ambiental de las poblaciones. En definitiva determina cómo son los ecosistemas.

Es importante por tanto evitar el uso de leña en los países y determinar nuevas formas de producción de fuego, como lo es el caso del biogás que se obtiene a través de la descomposición de materia orgánica.

En el siguiente trabajo de grado se presentan detalles sobre la construcción de un sistema familiar productor de biogás en función de eliminar el uso de leña y del gas licuado en el departamento de Santa Ana, municipio de Chalchuapa.

## CAPITULO I: CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA

### 1.1 ANTECEDENTES.

#### 1.1.1 HISTORIA DEL BIOGÁS EN EL MUNDO.

El comienzo de la historia del biogás se puede fijar en unos 5000 años atrás. Fuentes muy antiguas indican que el uso de desechos y los “recursos renovables” para el suministro de energía no son conceptos nuevos, pues ya eran conocidos y utilizados mucho antes del nacimiento de Cristo. Los inicios del biogás se han fijado con base a hechos históricos, que indican que, alrededor de 3000 años antes de Cristo, los sumerios ya practicaban la limpieza anaerobia de los residuos

También hay datos que están basados en el relato del viaje de Marco Polo a China (Catai) (1278-1295) en el libro “Divisament du monde” (posteriormente conocido como “El Libro de las maravillas del mundo”), en el que se describen unos tanques cubiertos en donde se almacenaban las aguas residuales en la antigua China, pero no está claro si capturaban el gas o si le daban alguna utilidad. En este libro, se dice que este hecho está mencionado en la literatura china del tercer milenio antes de Cristo.

En la era actual, el estudioso romano Plinio describió, alrededor del año 50 después de Cristo, el brillo de unas luces que aparecían por debajo de la superficie de los pantanos. Mucho más reciente, en el siglo XVI en Persia, hay constancia escrita del uso del biogás (Brakel, 1980; Lusk, 1998). En tiempos modernos, existe la disputa entre dos ciudades para determinar quién ostenta el honor de poseer el primer digestor anaerobio para biogás de la era moderna, ya que si bien en la primera unidad de digestión anaerobia para la obtención de biogás a partir de aguas residuales fue construida en la India en 1859, en el asilo-hospital de leproso de Matunga, cerca de Mumbai (antes de 1995 se llamaba Bombay) en la India (Sathianathan, 1975; Deublein y Steinhauser, 2008), esta planta purificaba las aguas residuales y proveía de luz y energía al hospital en caso de emergencias; hay también constancia de la construcción de un digestor en la ciudad de Otago en Nueva Zelanda, casi veinte años antes, hacia 1840.

### 1.1.2 HISTORIA DEL BIOGAS EN EL SALVADOR.

El biogás producido durante la digestión anaeróbica de sustratos orgánicos, tales como estiércol, residuos de plantas depuradoras, desechos orgánicos de viviendas y desechos industriales, puede ser usado como fuente de combustible para generar electricidad para autoconsumo en la granja o para venta a la red eléctrica, incluso para calefacción de acuerdo a las necesidades de cada aplicación.

En El Salvador se han desarrollado los primeros proyectos de biodigestión anaeróbica (Ver Tabla 1) como obra de mitigación alternativa a las prácticas tradicionales de tratamiento de los desechos orgánicos de las granjas porcinas y avícolas.

(Concejo Nacional de Energía de El Salvador, s.f, párr.3)

URL <[http://www.cne.gob.sv/index.php?option=com\\_content&view=article&id=116&Itemid=198](http://www.cne.gob.sv/index.php?option=com_content&view=article&id=116&Itemid=198)>

Tabla 1. Proyectos Instalados de biodigestión anaerobia.

Proyecto	Ubicación	Capacidad de almacenamiento (M3)
Granja de los hermanos Jovel	Cabañas	717
Avícola Campestre	San Miguel	6600
Agro industrias San Julián	Sonsonate	1200

Diferentes proyectos de biodigestión realizados en El Salvador.

Fuente: Concejo nacional de energía de El Salvador (2007).

#### 1.1.2.1 COMUNIDAD LOS MARRANITOS.

En la comunidad de los Marranitos, en el Bajo Lempa, Jiquilisco, existe un proyecto de la Organización No Gubernamental, Fundación para la Cooperación y El Desarrollo Comunal de El Salvador (CORDES), con varios agricultores orgánicos para mejorar su calidad de vida (Ver Foto 1). Se trata de una forma de conseguir energía sostenible y autónoma gracias a los biodigestores.

Un sistema que logra gas a partir de excrementos del ganado y que cuenta con una tubería que va directamente a la cocina. Así, las familias se ahorran los problemas de la leña: cortarla, cargarla, secarla, partirla, el humo, el riesgo de incendio, entre otros.

(Novas y Ruiz, 2012, Párr. 1)

URL <http://agaresobajolempa.blogspot.com/2012/09/una-energia-verde-y-sostenible.html>

Foto 1. Biodigestor con el plástico cobertor dañado.



Biodigestor colapsado debido al inadecuado diseño que se llevó a cabo, el plástico cobertor no soportó la presión del biogás.

Fuente: Fotografía de: ASOCIACIÓN FUNDACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO COMUNAL DE EL SALVADOR (CORDES), (El Salvador, Bajo Lempa, 2012).

#### 1.1.2.2 FAMILIAS EN SANTO DOMINGO DE GUZMÁN, SAN PEDRO PUXTLA Y GUAYMANGO HAN CONSTRUIDO BIODIGESTORES.

Gracias al apoyo de un organismo no gubernamental, y al ingenio de unas personas en Santo Domingo de Guzmán, San Pedro Puxtla y Guaymango, desde el año 2010 se cocina con biogás, el cual es producido artesanalmente con estiércol de cerdos (Ver Foto 2).

La asistencia y los materiales para armar el biodigestor se los brindó la Fundación para el Desarrollo Socioeconómico y Restauración Ambiental (FUNDESYRAM) en el año 2010 por medio de la colaboración técnica del Ingeniero agrónomo Efraín Cerritos en San Pedro Puxtla, departamento de Ahuachapán, que además asiste los municipios de Guaymango y Santo Domingo de Guzmán, departamento de Sonsonate.

La presencia institucional en la zona data desde el año 2000. Trabajan con fondos de cooperación provenientes principalmente de Austria y Francia.

La Fundación para el Desarrollo Socioeconómico y Restauración Ambiental (FUNDESYRAM) se define como un facilitador de desarrollo y en los últimos años ha direccionado su trabajo en el área agroempresarial. Tienen proyectos en Ahuachapán, Tacuba, San Pedro Puxtla y Guaymango (Ver Foto 3). Ellos promueven los biodigestores en todas las comunidades, ya que son opciones que tienen el visto bueno de los países donantes.

Foto 2. Promueven cocinas a base de gas de estiércol.



Cocina convencional adaptada para funcionar con un sistema de biodigestión.

Fuente: Eduardo Portillo. (San Pedro Puxtla y Guaymango, 19 de Septiembre de 2010) la Prensa Gráfica.

El biodigestor es un sistema en el que se aprovecha la actividad microbiana en ausencia anaeróbica. Esto quiere decir que bacterias metanogénicas trabajan

degradando el carbono y el nitrógeno presente en el estiércol. Así, al estar sin oxígeno producen y acumulan el biogás y el bioabono.

(La Prensa Gráfica, 2010, Párr. 1).

URL <http://www.laprensagrafica.com/el-salvador/departamentos/142475-promueven-cocinas-a-base-de-gas-de-estiercol#sthash.jHvwaLfe.dpuf>

Foto 3. Sistema del biodigestor y cocina de biogás.



*Estiércol de especies menores*

*Biodigestor*

*Cocina a base de biogas*

Familias de Cantón el Escalón utilizan biogás para mejorar la economía familiar y el ambiente.

Fuente: Eduardo Portillo, (Mayo 2011. Municipio de Guaymango). Fundación para el Desarrollo Socioeconómico y Restauración Ambiental (FUNDESYRAM)

## 1.2 ORIGEN EL BIOL

Es un biofertilizante que desde el inicio de la década de los 80 viene revolucionando toda Latinoamérica. La forma de hacer este biofertilizante fue ideada por el agricultor Delvino Magro con el apoyo de Sebastiao Pinheiro en Rio Grande Do Sul – Brasil, con sedes en Colombia y México (Wilson Andino, Ecuador, 2011, pág. 32).

URL <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/785/1/13T0707%20.pdf>

El primer producto elaborado fue el Biofertilizante, un resultado de la fermentación de excretas de vaca mezclada con levaduras, melaza y cenizas, diseñado por Delvino para lograr la solubilización de los minerales de la ceniza. Son tantas las propiedades de los biofertilizantes que, después de 50 años de su descubrimiento, se siguen encontrando bondades antes desconocidas. Hoy existen más de 2,000

formas de elaborar un biofertilizante. Además, los agricultores brasileños empezaron a probar otras formas de enriquecer sus tierras, una de las más efectivas sigue siendo el legendario Bocashi.

Los bioles o biofertilizantes son abonos líquidos fermentados que se obtienen mediante la fermentación anaeróbica en un medio líquido, de estiércol fresco de animales y enriquecido con microorganismos, leche, melaza y minerales de 35 a 90 días.

A partir de la diversidad de materiales disponibles en el terreno, se pueden fabricar una gran variedad de biofertilizantes, desde el más sencillo hasta el más complejo. El proceso de biofermentación aporta vitaminas, enzimas, aminoácidos, ácidos orgánicos, antibióticos y una gran riqueza microbiana que contribuyen a equilibrar dinámicamente el suelo y la planta, Al ser absorbidas por las hojas y las raíces, los biofertilizantes fortalecen y estimulan la protección de los cultivos contra el ataque de plagas, insectos y enfermedades (Paniagua, Picado y Rivera, 2005-2008).

URL <http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=1775>

### 1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los precarios medios de vida rural y los movimientos poblacionales hacia las áreas urbanas y el exterior de El Salvador reflejan los principales cambios económicos ocurridos a lo largo de las últimas dos décadas, particularmente el colapso de la economía rural tradicional.

A finales de los setenta, la economía salvadoreña aún dependía de las agroexportaciones tradicionales (café, algodón, azúcar y camarones), las que generaban el 81% de las divisas.

Para el 2000, esta proporción era del 11%, mientras que las remesas representaban dos tercios de las divisas y las exportaciones de las maquilas generaban el 17% (Tabla 2).

El aumento de las remesas de los salvadoreños residentes en el exterior ha sido espectacular. Ya en 1990, éstas sobrepasaban el valor de las exportaciones de café. La industria de la maquila también suplantó a las exportaciones de café como segunda fuente de divisas en 1998 (Ver imagen 1).

Tabla 2. Cambios en las principales fuentes de divisas, 1978 y 2000.

**El Salvador: Cambios en las principales fuentes de divisas, 1978 y 2000**

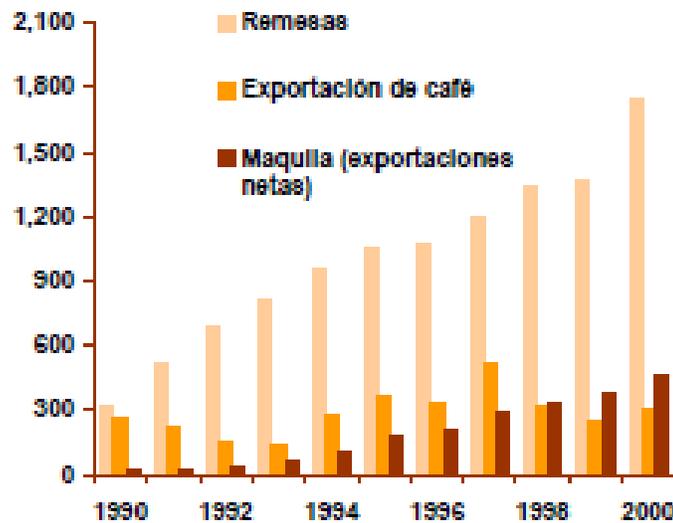
	Millones de Dólares de		Porcentaje Agro-(-%) exportación Tradicional		Estructura	
	1978	2000	1978	2000	1978	2000
Agro-exportaciones tradicionales*	514	292	100%	100%	81%	11%
Exportaciones No Trad. fuera de Centroamérica	54	145	11%	50%	8%	5%
Maquila (ingresos netos)	21	456	4%	156%	3%	17%
Remesas	51	1,750	10%	599%	8%	66%
<b>Total</b>	<b>640</b>	<b>2,643</b>			<b>100%</b>	<b>100%</b>
<b>Total excluyendo remesas</b>	<b>589</b>	<b>893</b>				

\* Café, algodón, azúcar y camarón. Nota: El cuadro no incluye exportaciones a Centroamérica.

Fuente: PRISMA, basado en datos del Banco Central de Reserva de El Salvador.

Imagen 1. Evolución de remesas, exportaciones de café y maquila, 1990-2000.

**Evolución de remesas, exportaciones de café y maquila, 1990-2000**  
(Millones de US\$)



Fuente: PRISMA, basado en datos del Banco Central de Reserva de El Salvador

En vista de los problemas económicos que se tiene en el área rural, y en las sub-urbanas, es conveniente generar opciones que conlleven una disminución en los gastos en gas propano o que por otro lado se elimine el uso de leña para cocinar, quitando así algunos problemas de ésta como lo es cargarla, secarla y el humo.

(Programa Salvadoreño de investigación sobre desarrollo y medio ambiente, Pobreza rural y medio ambiente, lecciones para medios de vida sostenibles, s.f, pág. 21)

URL [www.prisma.org.sv/uploads/media/PobrezaR\\_es.pdf](http://www.prisma.org.sv/uploads/media/PobrezaR_es.pdf)

### 1.3.1 DEMANDA DE PRODUCTOS FORESTALES.

El Salvador tiene un consumo de productos forestales estimado en 4,9 millones de metros cúbicos anuales; de este total, aproximadamente el 93,5% se destina al abastecimiento de madera para energía.

La biomasa forestal es responsable de la generación del 53,5% de toda la energía nacional, estimada en 18856 toneladas calorías por año.

Por lo tanto, la leña es el principal producto forestal del país, el 77,3% de la población es consumidora de leña como combustible doméstico, ya que en el 92,5% de los hogares es el principal combustible utilizado; en el sector rural se consume un 71% de toda la leña producida (Ver Tabla 3).

El consumo industrial de leña representa un 15% del consumo total de este producto o sea unos 688,700 m<sup>3</sup> anuales, que principalmente se destinan al cocido de ladrillos, panaderías, restaurantes y salineras; se estima que cada ciudadano necesita 0,84 m<sup>3</sup> de madera anual, sólo para generación de energía.

Tabla 3. Consumo domestica de leña en El Salvador.

Zona	1000 t	1000 M3	%	Nº de Familias	% de Población
Área metropolitana	200.8	268	6.80	82,800	37.40
Otras Áreas Urbanas	651.7	869	22.30	202,700	73.00
Sub Total Consumo Urbano	852.5	1137	29.20	285,500	56.70
Área Rural	2,082.60	2763	70.80	429,700	97.90
Total	2,935.10	3,900.00	100.00	715,200.00	77.30

Fuente: CEL, fuentes no convencionales de energía, Basado en un estudio del Ing. Martínez Montalvo, Julio 1987. Consumo promedio per cápita 2.10 Kilogramo/Usuario/Día. Promedio 5.36 personas por familia.

Es necesario crear dispositivos como lo es el biodigestor que permitan eliminar los gastos en gas propano que se realizan en una familia y aprovechar los beneficios del biol en el mejoramiento de suelos.

(Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (s.f).párr.10)

URL <http://www.fao.org/docrep/006/ad097s/AD097S05.htm>

## 1.4 JUSTIFICACIÓN

Disminuir los gastos debe ser un objetivo principal de toda familia hoy en día, ya que en esto estriba tener más opciones o posibilidades de compras. En función de ello es propicio crear sistemas que conlleven al ahorro a mediano plazo, esta es una de las intenciones del sistema de biogás, el cual es de fácil elaboración y produce un ahorro a largo plazo a las familias.

**Los Objetivos de Desarrollo Sostenible 11, 13 y 15 proponen acciones para** mitigar el cambio climático, mejorar la calidad de vida de las ciudades y comunidades, mejorar la calidad del suelo; adoptados por los líderes mundiales en el principal foro intergubernamental internacional para negociar la respuesta mundial al cambio climático, es por esto que se buscan medidas para reducir el impacto ambiental negativo generado por las emisiones gaseosas a la atmosfera causadas por el uso de leña y el uso de abonos químicos, opciones como el biodigestor que producen biogás, que reduce la tala de árboles, y un desecho al cual se le denomina biol, que se utiliza como un mejorador de suelo que evita el uso de abono químico.

Elaboración de un biodigestor como prueba piloto del proyecto "Diseño de biodigestor familiar para producción de biogás y biol a partir de excretas de ganado en el municipio de Chalchuapa, departamento de Santa Ana" que demuestre los beneficios como la calidad y cantidad de producto obtenido de los procesos del biodigestor garantizando de esta forma el diseño apropiado a las condiciones de los cantones del municipio de Chalchuapa.

## 1.5 OBJETIVOS

### 1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Minimizar el impacto ambiental mediante la disminución de emisiones gaseosas a la atmósfera ocasionadas por el uso de leña.

### 1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un sistema familiar para generación de biogás y biol a partir de las excretas de ganado bovino.
- Producir biogás y biol por medio de un biodigestor utilizando excretas de ganado.
- Reciclar las excretas de ganado bovino por medio del sistema de biodigestor.

## 1.6 ALCANCES GLOBALES

Para la realización del trabajo de investigación “DISEÑO DE BIODIGESTOR FAMILIAR PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOL A PARTIR DE EXCRETAS DE GANADO EN EL MUNICIPIO DE CHALCHUAPA, DEPARTAMENTO DE SANTA ANA”, se realizara lo siguiente:

1. Establecer las dimensiones y los materiales de construcción, para lo cual se tomará en cuenta sistemas existentes en otros países de Latinoamérica y las experiencias de municipios de El Salvador que sean adaptables a la situación socioeconómica del municipio de Chalchuapa.
2. La construcción del biodigestor se realizara en el departamento de Santa Ana y municipio de Santa Ana porque:
  - 2.1 Se posee la facilidad de trabajar en un terreno con las consideraciones necesarias para la elaboración de un sistema de biodigestor familiar.
  - 2.2 Se encuentra bastante cerca del municipio de Chalchuapa por lo que se considera que no hay una diferencia altamente significativa en los costos índices.
  - 2.3 Facilidad para la obtención de la materia prima para generar biogás y biol.
3. Mitigar el deterioro ambiental ocasionado por las emisiones gaseosas, tala de árboles producto del uso de leña; además mejorar la calidad del suelo por medio del biol en el municipio de Chalchuapa.

## CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL

### 2.1 MARCO TEÓRICO

#### 2.1.1 CAMBIO CLIMÁTICO.

El cambio climático es un fenómeno que no solo afecta a nivel regional sino que es de carácter global debido a su naturaleza. En general, se trata de cambios de orden natural, pero actualmente, se encuentra asociado con el impacto humano sobre el planeta. Se trata de un fenómeno complejo que sólo puede ser observado y analizado mediante simulaciones computacionales.

Si bien cambio climático no es sinónimo de calentamiento global, ya que responde a diversas causas y da como resultado múltiples consecuencias, comúnmente se encuentra asociado a este fenómeno de aumento de la temperatura promedio en la atmósfera y en los océanos. Pero además del calentamiento, también el cambio climático influye en las precipitaciones, nubosidad y muchos otros parámetros.

##### 2.1.1.1 EFECTO INVERNADERO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO.

El efecto invernadero es un fenómeno natural importante para la supervivencia del planeta, permite tener una temperatura promedio de la Tierra de 15°C y no de -18°C si este efecto no existiera. Los gases de efecto invernadero son naturalmente menos abundantes en la atmósfera, pero debido a la actividad humana, la concentración de estos gases se altera sustancialmente; la concentración de CO<sub>2</sub> ha aumentado un 30% desde una centena de años.

El cambio climático se refiere a un cambio estadísticamente significativo en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante largos períodos. El cambio climático puede atribuirse a las actividades humanas y a causas naturales, que alteran la composición de la atmósfera.

Los gases de efecto invernadero tienen un papel importante en la regulación del clima. Sin ellos, la temperatura media de la Tierra sería de -18°C en lugar de 15°C y la vida probablemente no existiría. Sin embargo, desde el siglo XIX, el hombre

ha aumentado considerablemente la cantidad de gases de efecto invernadero en la atmósfera; entre 1970 y 2004, las emisiones globales de gases de efecto invernadero han aumentado en un 70%. En consecuencia, el equilibrio climático se desestabiliza y el clima se reajusta a un efecto invernadero aumentado.

La Tierra recibe toda su energía del sol. Sólo una parte de esta energía es absorbida por la tierra y la atmósfera; el resto se devuelve al espacio. Con esta energía, la tierra se calienta y gracias a los gases de efecto invernadero contenido en la atmósfera, impide que la radiación infrarroja se devuelva de la tierra al espacio. El efecto invernadero, un fenómeno natural, es condición indispensable para la vida en la tierra.

### 2.1.2 ENERGÍA RENOVABLE

A raíz de la crisis del petróleo de los años 70 se consideró que las energías renovables podían ser una alternativa energética que permitiese alcanzar un mayor grado de independencia de los recursos petrolíferos. En la actualidad, el aumento global de la demanda energética ha generado numerosos problemas ambientales que, unidos a la demanda social, están actuando como impulsores en el desarrollo de una nueva etapa en su implantación. Para conseguir afianzar esta implantación y efectuar una integración más eficiente de cara a la satisfacción de la demanda, se hace necesario considerar las características fundamentales de estas fuentes y relacionarlas con los aspectos ambientales, socioeconómicos e institucionales.

Entre las energías renovables más conocidas son: energía solar, energía eólica, energía de la biomasa, energía geotérmica, energía hidráulica y energía oceánica. Pero debido al tipo de investigación solo definirá y se le dará mayor importancia a la energía de la biomasa.

### 2.1.3 ENERGÍA DE LA BIOMASA

La energía de la biomasa procede de la radiación solar, que es transformada en energía química de enlace, gracias al proceso de fotosíntesis desarrollado por las plantas verdes. Esta energía química es acumulada en diferentes compuestos orgánicos. Su capacidad natural de almacenamiento constituye una diferencia característica respecto a otras energías renovables.

El aprovechamiento de la biomasa contenida en los residuos para su transformación en energía útil presenta varias ventajas como son la existencia de la materia prima, la concentración, y la generación de subproductos con un alto valor añadido.

En función del origen se puede distinguir entre residuos agrarios procedentes de las actividades agrícolas, ganaderas y forestales, industriales procedentes básicamente de la industria agraria de transformación y urbanos pueden ser residuos sólidos urbanos o parte orgánica de las basuras y aguas residuales o lodos de depuración.

La combustión es el aprovechamiento energético más tradicional de la biomasa. Los sistemas de combustión cuentan habitualmente con una caldera, un equipo de recuperación de calor y un sistema para la utilización de la energía recuperada. La energía así obtenida se puede utilizar tanto en forma de calor aplicaciones domésticas e industriales como para la producción de electricidad. La eficacia de este procedimiento está entorno al 30%, pudiendo superar este límite aplicando ciclos combinados.

(Molina y Troitiño, 2002, p.73)

URL <http://biblioteca.ucm.es/tesis/ghi/ucm-t26315.pdf>

### 2.1.4 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), son un llamado universal a la adopción de medidas para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad.

Estos 17 Objetivos se basan en los logros de los Objetivos de Desarrollo del Milenio, aunque incluyen nuevas esferas como el cambio climático, la desigualdad económica, la innovación, el consumo sostenible y la paz y la justicia, entre otras prioridades. Los Objetivos están interrelacionados, con frecuencia la clave del éxito de uno involucrará las cuestiones más frecuentemente vinculadas con otro.

Los ODS conllevan un espíritu de colaboración y pragmatismo para elegir las mejores opciones con el fin de mejorar la vida, de manera sostenible, para las generaciones futuras. Proporcionan orientaciones y metas claras para su adopción por todos los países, en conformidad con sus propias prioridades y los desafíos ambientales del mundo en general.

Los objetivos y metas que se presentan se seleccionaron de forma que guarden relación con el tema de la investigación que se realiza.

#### 2.1.4.1 OBJETIVO 11: LOGRAR QUE LAS CIUDADES Y LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS SEAN INCLUSIVOS, SEGUROS, RESILIENTES Y SOSTENIBLES

Los problemas que enfrentan las ciudades se pueden vencer de manera que les permita seguir prosperando y creciendo, y al mismo tiempo aprovechar mejor los recursos y reducir la contaminación y la pobreza. El futuro que se quiere incluye a ciudades de oportunidades, con acceso a servicios básicos, energía, vivienda, transporte y más facilidades para todos.

Metas:

- Redoblar los esfuerzos para proteger y salvaguardar el patrimonio cultural y natural del mundo.
- Para 2030, reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo.

- Para 2020, aumentar sustancialmente el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan y ponen en marcha políticas y planes integrados para promover la inclusión, el uso eficiente de los recursos, la mitigación del cambio climático y la adaptación a él y la resiliencia ante los desastres, y desarrollar y poner en práctica, en consonancia con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, la gestión integral de los riesgos de desastre a todos los niveles.

#### 2.1.4.2 OBJETIVO 13: ADOPTAR MEDIDAS URGENTES PARA COMBATIR EL CAMBIO CLIMÁTICO Y SUS EFECTOS

El cambio climático afecta a todos los países en todos los continentes. Tiene un impacto negativo en la economía nacional y en la vida de las personas, de las comunidades y de los países. En un futuro las consecuencias serán todavía peores.

Las personas viven en su propia piel las consecuencias del cambio climático, que incluyen cambios en los patrones climáticos, el aumento del nivel del mar y los fenómenos meteorológicos más extremos. Las emisiones de gases de efecto invernadero causadas por las actividades humanas hacen que esta amenaza aumente. De hecho, las emisiones nunca habían sido tan altas. Si no actuamos, la temperatura media de la superficie del mundo podría aumentar unos 3 grados centígrados este siglo y en algunas zonas del planeta podría ser todavía peor. Las personas más pobres y vulnerables serán los más perjudicados.

Tenemos a nuestro alcance soluciones viables para que los países puedan tener una actividad económica más sostenible y más respetuosa con el medio ambiente.

Metas:

- Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales.
- Promover mecanismos para aumentar la capacidad de planificación y gestión eficaz en relación con el cambio climático en los países menos adelantados y

los pequeños Estados insulares en desarrollo, centrándose en particular en las mujeres, los jóvenes y las comunidades locales y marginadas.

#### 2.1.4.3 OBJETIVO 15: GESTIONAR SOSTENIBLEMENTE LOS BOSQUES, LUCHAR CONTRA LA DESERTIFICACIÓN, DETENER E INVERTIR LA DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS Y DETENER LA PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD

El 30% de la superficie terrestre está cubierta por bosques y estos, además de proporcionar seguridad alimentaria y refugio, son fundamentales para combatir el cambio climático, pues protegen la diversidad biológica y las viviendas de la población indígena. Cada año desaparecen 13 millones de hectáreas de bosque y la degradación persistente de las zonas áridas ha provocado la desertificación de 3.600 millones de hectáreas.

La deforestación y la desertificación –provocadas por las actividades humanas y el cambio climático– suponen grandes retos para el desarrollo sostenible y han afectado a las vidas y los medios de vida de millones de personas en la lucha contra la pobreza.

Metas:

- Para 2020, promover la gestión sostenible de todos los tipos de bosques, poner fin a la deforestación, recuperar los bosques degradados e incrementar la forestación y la reforestación a nivel mundial.
- Para 2030, luchar contra la desertificación, rehabilitar las tierras y los suelos degradados, incluidas las tierras afectadas por la desertificación, la sequía y las inundaciones, y procurar lograr un mundo con una degradación neutra del suelo.
- Adoptar medidas urgentes y significativas para reducir la degradación de los hábitats naturales, detener la pérdida de la diversidad biológica y, para 2020, proteger las especies amenazadas y evitar su extinción.

(Naciones Unidas, Proyecto de documento final de la cumbre de las Naciones Unidas para la aprobación de la agenda para el desarrollo después de 2015, 2015, Pág.25)

URL <http://onu.org.pe/ods-15/>

### 2.1.5 BIOGAS

El biogás es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismo y otros factores, en ausencia de oxígeno esto es, en un ambiente anaeróbico. Este gas se ha venido llamando gas de los pantanos, puesto que en ellos se produce una biodegradación de residuos vegetales.

#### 2.1.5.1 PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

La producción de biogás por descomposición anaeróbica es un modo considerado útil para tratar residuos biodegradables, ya que produce un combustible de valor además de generar un efluente que puede aplicarse como acondicionador de suelo o abono genérico, el resultado es una mezcla constituida por metano en una proporción que oscila entre un 50% y un 70% en volumen, y dióxido de carbono, conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y sulfuro de hidrógeno. El biogás tiene como promedio un poder calorífico entre 18,8 y 23,4 Mega Julios por metro cúbico (MJ/m<sup>3</sup>).

Este gas se puede utilizar para producir energía eléctrica mediante turbinas o plantas generadoras a gas, en hornos, estufas, secadores, calderas u otros sistemas de combustión a gas, debidamente adaptados para tal efecto.

### 2.1.5.2 EL BIOGÁS POR DESCOMPOSICIÓN ANAERÓBICA

La digestión anaerobia es un proceso biológico en el que la materia orgánica, en ausencia de oxígeno, y mediante la acción de un grupo de bacterias específicas, se descompone en productos gaseosos o “biogás” y en digestato, que es una mezcla de productos minerales y compuestos de difícil degradación.

El proceso controlado de digestión anaerobia es uno de los más idóneos para la reducción de emisiones de efecto invernadero, el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos y el mantenimiento y mejora del valor fertilizante de los productos tratados.

La digestión anaerobia puede aplicarse, entre otros, a residuos ganaderos, agrícolas, así como a los residuos de las industrias de transformación de dichos productos. Entre los residuos se pueden citar purines, estiércol, residuos agrícolas o excedentes de cosechas, etc.

La digestión anaerobia también es un proceso adecuado para el tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica, como las producidas en muchas industrias alimentarias.

#### 2.1.5.2.1 BENEFICIOS ASOCIADOS A LA DIGESTIÓN ANAEROBIA.

- Reducción significativa de malos olores.
- Mineralización: La mineralización es la transformación del nitrógeno orgánico en amonio, mediante la acción de microorganismos del suelo.
- Producción de energía renovable si el gas se aprovecha energéticamente y sustituye a una fuente de energía fósil.
- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de la reducción de emisiones incontroladas de CH<sub>4</sub>, (que produce un efecto invernadero 20 veces superior al CO<sub>2</sub>), y reducción del CO<sub>2</sub> ahorrado por sustitución de energía fósil.

### 2.1.5.3 USOS DEL BIOGÁS

El biogás producido en procesos de digestión anaerobia puede tener diferentes usos, por ejemplo:

- En calderas para generación de calor o electricidad.
- En motores o turbinas para generar electricidad.
- En pilas de combustible, con previa realización de una limpieza de H<sub>2</sub>S y otros contaminantes de las membranas.
- Purificándolo y añadiéndole los aditivos necesarios para introducirlo en una red de gas natural.
- Usándolo como material base para la síntesis de productos de elevado valor agregado, como es el metanol o el gas natural licuado.
- Como combustible de vehículos.

El biogás, además de metano tiene otra serie de compuestos que se comportan como impurezas: agua, sulfuro de hidrógeno, monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles como hidrocarburos halogenados, siloxanos, etc. Por lo tanto, es necesaria la limpieza del combustible, dependiendo del uso final que se le vaya a dar.

Una aplicación tipo de la digestión anaerobia es en las granjas de ganado bovino y porcino de gran tamaño o como planta de gestión de residuos en zonas de alta concentración de ganado estabulado, por el gran problema que generan los purines. En este caso, se puede proponer y proyectar una planta de digestión anaerobia de producción de biogás, como auto abastecimiento energético según las necesidades.

Una situación ideal sería implantar un pequeño sistema de cogeneración, que permitiría un ahorro en agua caliente y electricidad en épocas frías, junto con la conexión a la red para la venta eléctrica. En los meses de verano, venta a la red eléctrica o venta de biogás para su embotellado a presión.

Generalmente, los costos asociados a instalaciones de gestión de residuos orgánicos mediante digestión anaerobia son elevados y la productividad es muy baja en términos de la energía contenida en el biogás respecto a la cantidad de residuo tratado.

#### 2.1.5.4 POTENCIAL ENERGÉTICO DEL BIOGÁS

El biogás es una fuente de energía renovable, compuesta principalmente por metano y dióxido de carbono, generados a partir de la biodegradación de materia orgánica en ausencia de oxígeno. Cumple una importante función medioambiental ya que se obtiene a partir del tratamiento y la valorización energética de residuos orgánicos de origen animal, vegetal, agroindustrial, forestal y acuático.

Como otros combustibles el biogás cuenta con múltiples aplicaciones, desde generación de electricidad o calor, hasta carburante en vehículos adaptados para ello.

#### 2.1.5.5 MÚLTIPLES BENEFICIOS PARA EL MEDIO AMBIENTE DEL USO DEL BIOGAS

Este biocombustible contribuye a la mitigación del Cambio Climático debido a las siguientes razones:

- No emite dióxido de azufre, que además, es el principal causante de la lluvia ácida.
- Disminuye la concentración de partículas en suspensión de monóxido de carbono y de hidrocarburos respecto a otros carburantes.
- Permite reducir la dependencia energética de los combustibles fósiles.
- Otro de los beneficios del biogás frente a otras fuentes de energía renovable, es que proporciona una mayor seguridad en cuanto al abastecimiento energético, pues su producción no está limitada por las condiciones climáticas.

### 2.1.6 BIOL

El Biol es el producto final líquido con partículas sólidas lodos que se adquiere por el uso del biodigestor el cual se puede usar como abono orgánico, líquido que se origina a partir de la descomposición de materiales orgánicos materia prima del biodigestor, como estiércoles de animales, plantas verdes, frutos, entre otros, en ausencia de oxígeno (Ver imagen 2). Debido a que la procedencia orgánica es altamente fértil y que, a su aplicación ayuda al restablecimiento ecológicamente y económicamente; además gracias a su naturaleza todos los nutrientes que contiene son productos fácilmente absorbidos para las plantas.

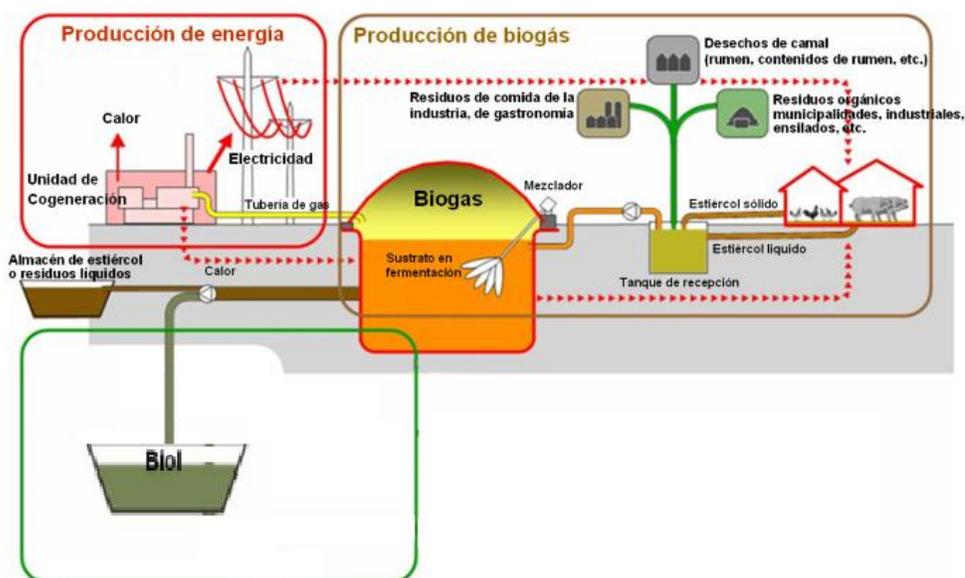


Imagen 2 Esquema del sistema de generación de biogás y Biol

El Biol es el producto de la fermentación de estiércol y agua, a través de la descomposición y transformaciones químicas de residuos orgánicos en un ambiente anaerobio. Tras salir del biodigestor, este material ya no posee olor lo cual facilita su uso en suelos agrícolas. El biol como mejorador de suelos es una fuente de fitoreguladores que ayudan a las plantas a tener un óptimo desarrollo, generando mayor productividad a los cultivos.

El biol es un producto estable biológicamente, rico en humus y una baja carga de patógenos. El biol tiene una buena actividad biológica, desarrollo de fermentos

nitrosos y nítricos, microflora, hongos y levaduras que serán un excelente complemento a suelos improductivos o desgastados.

El biol contiene grandes cantidades de materia orgánica, en el caso del biol de producto de excretas de ganado bovino se puede encontrar en altas cantidades. El biol agregado al suelo provee materia orgánica que resulta fundamental en la génesis y evolución de los suelos, constituye una reserva de nitrógeno y ayuda a su estructuración, particularmente la de textura fina. La cantidad y calidad de esta materia orgánica influirá en procesos físicos, químicos y biológicos del sistema convirtiéndose en un factor importantísimo de la fertilidad de estos. La combinación de estos efectos resultará en mejores rendimientos de los cultivos que sean producidos en ese suelo. La capacidad de fertilización del biol es mayor al estiércol fresco y al estiércol compostado, debido a que el nitrógeno es convertido a amonio ( $\text{NH}_4$ ), el cual es transformado nitratos.

#### 2.1.6.1 VENTAJAS Y DESVENTAJA DEL BIOL

##### 2.1.6.1.1 VENTAJAS

- El biol no es tóxico y no contamina el medio ambiente, por ser un abono que se obtiene de productos sanos y saludables.
- Tiene bajo costo de producción y no requiere inversión, se puede preparar en el sitio
- Se logran incrementos de hasta el 30% en la producción de los cultivos sin emplear fertilizantes químicos.
- Es fácil de elaborar, pues requiere materia orgánica, agua y fermentación.
- Mejora el vigor de los cultivos, y le permite soportar con mayor eficacia los ataques de plagas y enfermedades y los efectos adversos del clima (sequías, heladas, granizadas).
- Es de rápida absorción para las plantas por su alto contenido de hormonas de crecimiento vegetal, aminoácidos y vitaminas.

#### 2.1.6.1.2 DESVENTAJA

Tiene un periodo de elaboración de 3 a 4 meses así que se tiene que planificar su producción en el año para encontrar follaje verde de los insumos y poder usarlo durante la campaña agrícola

(Arana, 2011, pág. 9)

URL [www.solucionespracticas.org.pe/Descargar/297/2670](http://www.solucionespracticas.org.pe/Descargar/297/2670)

#### 2.1.7 BIÓDIGESTORES

En su forma simple es un contenedor (llamado reactor) el cual está herméticamente cerrado y dentro del cual se deposita material orgánico como excremento y desechos vegetales (exceptuando los cítricos ya que éstos acidifican). Los materiales orgánicos se ponen a fermentar con cierta cantidad de agua, produciendo gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en fósforo, potasio y nitrógeno. Este sistema también puede incluir una cámara de carga y nivelación del agua residual antes del reactor, un dispositivo para captar y almacenar el biogás y cámaras de hidropresión y postratamiento (filtro y piedras, de algas, secado, entre otros) a la salida del reactor.

El proceso de biodigestión se da porque existe un grupo de microorganismos bacterianos anaeróbicos en los excrementos, que, al actuar en el material orgánico produce una mezcla de gases (con alto contenido de metano) al cuál se le llama biogás. El biogás es un excelente combustible y el resultado de este proceso genera ciertos residuos con un alto grado de concentración de nutrientes el cuál puede ser utilizado como fertilizante y puede utilizarse fresco, ya que por el tratamiento anaeróbico los malos olores son eliminados.

Producen abono natural y biogás a partir de desechos orgánicos, tanto excrementos de origen animal y humano como restos vegetales. Estos residuos se reciclan convirtiéndose en energía y en fertilizantes para su uso en las tareas del

campo, por lo que es un método de ahorro energético ideal para zonas rurales o para países en vías de desarrollo.

Los contenedores se utilizan sobre todo en el tratamiento de excrementos de ganado bovino y porcino, ya que ambos generan biogás en una mayor medida. Se pueden usar tanto para emitir energía térmica como eléctrica. En principio, la inversión en estas máquinas es alta, debido a los costes de instalación y puesta en marcha, pero en los últimos años ha ido disminuyendo gracias al abaratamiento de los materiales de construcción de los mismos, que suelen ser plástico y polietileno. Es por ello, que, en este tipo de máquinas la variedad de modelos es muy amplia, llegándose a conocer en torno a unas setenta, lo que da amplio margen a la hora de instalarlas y poder hacer frente a los costes.

#### 2.1.7.1 VENTAJAS DEL USO DE BIODIGESTORES

En las grandes ciudades los residuos sólidos orgánicos son un gran problema, ya que éstos son dispuestos en rellenos sanitarios, los cuáles rompen el ciclo natural de descomposición porque contaminan las fuentes de agua subterránea debido al lavado del suelo por la filtración de agua (lixiviación) y también porque favorece la generación de patógenos.

Los residuos orgánicos al ser introducidos en el biodigestor son descompuestos de modo que el ciclo natural se completa y las basuras orgánicas se convierten en fertilizante y biogás el cual evita que el gas metano esté expuesto ya que es considerado uno de los principales componentes del efecto invernadero.

La utilización de biogás puede sustituir a la electricidad, al gas propano y al diesel como fuente energética en la producción de electricidad, calor o refrigeración. En el sector rural el biogás puede ser utilizado como combustible en motores de generación eléctrica para autoconsumo de la finca o para vender a otras. Puede también usarse como combustible para hornos de aire forzado, calentadores y

refrigeradores de adsorción. La conversión de aparatos al funcionamiento con gas es sencilla.

La producción de biogás es permanente, aunque no siempre constante debido a fenómenos climáticos.

#### 2.1.7.2 TIPOS DE BIODIGESTORES

La siguiente clasificación es según el periodo de alimentación según Schlaefli:

Sistema discontinuo, conocidos también como de carga fija ya que se carga sólo una vez en forma total y luego se cierra herméticamente por unos 20 o 50 días, donde se descarga después que deje de producir gas. El modelo tipo Batch es el más conocido de este sistema.

Sistema semicontinuo, son pequeños o de mediana escala, de uso urbano o rural, presenta buena eficiencia de producción de biogás diaria. Los modelos que destacan en este sistema son el tipo Hindú, el tipo Chino y otro de menor costo del tipo manga de polietileno (ver imagen 3).

Sistema continuo, tienen flujo constante de biomasa activa en su interior. Son grandes sistemas sofisticados, donde emplean equipos comerciales para alimentarlos, darles calefacción, agitación y control.



Imagen 3. S.F. Modelos de biodigestores. De izquierda a derecha se tiene el modelo chino, modelo manga de geo membrana y una planta de biometano

### 2.1.7.3 MODELO DE BIODIGESTOR FAMILIAR PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOL

Este documento pretende dar a conocer un método sencillo para diseñar un biodigestor familiar de bajo costo.

Esta guía de diseño presenta inicialmente los conceptos que se deben considerar en el diseño de un biodigestor. Inicialmente presenta parámetros que determinan el diseño, además se aporta un método simplificado de estimación de biogás diario disponible.

Hasta este punto, se tendrá la capacidad de diseñar el biodigestor en cuanto volúmenes, y es entonces cuando es necesario determinar las dimensiones de longitud, diámetro y dimensiones de la fosa donde se albergará el biodigestor.

#### 2.1.7.3.1 CONCEPTOS EN EL DISEÑO DE UN BIODIGESTOR FAMILIAR

El diseño de un biodigestor depende directamente de varios parámetros tales como la temperatura ambiente media del lugar donde se vaya a instalar. La temperatura marcará la actividad de las bacterias que digieren el estiércol, y cuanto menor temperatura, menor actividad tendrán éstas, y por tanto será necesario que el estiércol esté más tiempo en el interior del biodigestor. De esta forma la temperatura marca el tiempo de retención.

Por otro lado, la carga diaria de estiércol determinará la cantidad de biogás producido por día. La carga de estiércol diaria, junto con el tiempo de retención (determinado por la temperatura), determinarán el volumen del biodigestor.

Una cualidad de esta tecnología es que es adaptable a muchas situaciones, y su diseño puede considerar diferentes criterios:

- Criterios de necesidad de combustible.

- Criterios de necesidades medioambientales (cuando se desea tratar todo el estiércol generado)
- Criterios de un fertilizante natural.
- Criterios de límite de estiércol disponible.

Según cuál sea el objetivo del biodigestor; proveer de combustible, generar un buen fertilizante o depurar residuos orgánicos, unos parámetros u otros serán los que definan la metodología de cálculo del biodigestor.

Es importante añadir en este punto que un biodigestor también puede digerir las aguas negras producidas en una letrina, pero que para ello se deberán considerar factores extra, como son el uso limitado del fertilizante y el tamaño del biodigestor.

(Jaime Herrero, Bolivia, 2008, pag. 25)

URL <https://es.scribd.com/document/341126314/biodigestores-familiares-pdf>

#### 2.1.7.3.2 DIGESTIÓN ANAEROBIA.

El estiércol fresco contiene bacterias que continúan digiriéndolo y producen metano, dióxido de carbono y otros gases. Si esta digestión se hace en ausencia de aire se produce biogás, que es uno de los intereses de un biodigestor. Realmente hay una producción en cadena de diferentes tipos de bacterias. Unas inicialmente producen una hidrólisis del estiércol generando ácidos orgánicos. Otro tipo de bacterias digieren estos ácidos orgánicos a través de una deshidrogenación y acetogénesis dando como resultado ácido acético e hidrógeno y finalmente otras bacterias, llamadas metanogénicas, digieren el hidrógeno y el ácido acético para transformarlo en metano, que es el gas más importante del biogás y el que permite la combustión

### 2.1.7.3.3 BENEFICIOS AMBIENTALES DE LA BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA.

Al igual que el gas natural, el biogás tiene una amplia variedad de usos, pero al ser un derivado de la biomasa, constituye una fuente de energía renovable. Existen diversos beneficios derivados del proceso de conversión de residuos orgánicos en biogás.

La presión económica sobre los productos agrícolas convencionales se encuentra en continuo aumento. Muchos agricultores se ven obligados a renunciar a su producción, principalmente debido a que sus tierras no presentan rendimientos rentables. Sin embargo, en muchos países la producción de biogás se encuentra subvencionada o presenta incentivos económicos proporcionando a los agricultores un ingreso adicional. Por lo tanto, en el sector agrícola, la implementación de tecnologías de digestión anaeróbica puede permitir obtener importantes beneficios económicos, ambientales y energéticos. Por otra parte, permite una gestión mejorada de nutrientes, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y a la captura y uso de biogás.

Cuando los residuos orgánicos se someten a una degradación aeróbica, se generan compuestos de bajo poder energético como CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. Gran parte de la energía se pierde y se libera a la atmósfera. Se estima que la pérdida de energía de un proceso aeróbico es aproximadamente veinte veces superior al de un proceso anaeróbico.

En el caso de la degradación anaeróbica, se generan productos del metabolismo con alto poder energético, los cuales sirven como nutrientes de otros organismos, o bien son utilizados con fines energéticos por la sociedad como el biogás.

Otro beneficio ambiental importante de las plantas de biogás es la significativa reducción de la presión sobre los rellenos sanitarios. De esta forma se reducen significativamente los costos de la disposición de residuos orgánicos, e incluso se obtienen sub-productos con valor agregado como es el biol. Además, el tratamiento anaeróbico de los residuos orgánicos contribuye a la protección de las aguas subterráneas, reduciendo el riesgo de lixiviación de nitratos. Por otra parte,

la digestión anaeróbica elimina el problema de emisión de olores molestos, como por ejemplo, el olor a amoníaco, producto de la acumulación de excretas y orina sin tratar.

#### 2.1.7.3.4 RELACIÓN CARBONO POR CADA PARTE DE NITRÓGENO DE LAS MATERIAS PRIMAS.

Prácticamente toda la materia orgánica es capaz de producir biogás al ser sometida a fermentación anaeróbica. La calidad y la cantidad del biogás producido dependerán de la composición y la naturaleza del residuo utilizado. Los niveles de nutrientes deben de estar por encima de la concentración óptima para las metanobacterias, ya que ellas se inhiben severamente por falta de nutrientes.

El carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas. El carbono constituye la fuente de energía y el nitrógeno es utilizado para la formación de nuevas células. Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación óptima de estos dos elementos en la materia prima se considera en un rango de 30:1 hasta 20:1.

La descomposición de materiales con alto contenido de carbono, superior a 35:1, ocurre más lentamente, porque la multiplicación y desarrollo de bacterias es bajo, por la falta de nitrógeno, pero el período de producción de biogás es más prolongado. En cambio, con una relación carbono por cada parte de nitrógeno menor de 8:1 se inhibe la actividad bacteriana debido a la formación de un excesivo contenido de amonio, el cual en grandes cantidades es tóxico e inhibe el proceso.

En términos generales, se considera que una relación carbono por cada parte de nitrógeno óptima que debe tener el material “fresco o crudo” que se utilice para iniciar la digestión anaeróbica, es de 30 unidades de carbono por una unidad de nitrógeno, es decir, relación carbono por cada parte de nitrógeno igual 30/1. Por lo tanto, cuando no se tiene un residuo con una relación carbono por cada parte de nitrógeno inicial apropiada, es necesario realizar mezclas de materias en las

proporciones adecuadas para obtener la relación carbono por cada parte de nitrógeno óptimas.

#### 2.1.7.3.5 TEMPERATURA Y TIEMPO DE RETENCIÓN.

En el proceso de digestión anaerobia son las bacterias metanogénicas las que producen, en la parte final del proceso, metano. Existen diferentes poblaciones de bacterias metanogénicas y cada una de ellas requiere una temperatura para trabajar de forma óptima. Existen poblaciones metanogénicas que tienen su mayor rendimiento a 70°C de temperatura, pero para ello habría que calentar el lodo interior del biodigestor. Hay otras poblaciones que tienen su rango óptimo de trabajo de 30 a 35°C. Estas temperaturas se pueden alcanzar en zonas tropicales de manera natural (Ver Tabla 4). La actividad de las bacterias desciende si estamos por encima o por debajo del rango de temperaturas óptimas de trabajo.

En biodigestores sin sistema de calefacción se depende de la temperatura ambiente que en muchas regiones es inferior al rango de temperaturas óptimas. A menores temperaturas se sigue produciendo biogás, pero de manera más lenta. A temperaturas inferiores a 5°C se puede decir que las bacterias quedan "dormidas" y ya no producen biogás.

Por ello es necesario estimar un tiempo de retención según la temperatura a la que se trabaje. El tiempo de retención es la duración del proceso de digestión anaerobia, es el tiempo que requieren las bacterias para digerir el lodo y producir biogás. Este tiempo, por tanto, dependerá de la temperatura de la región donde se vaya a instalar el biodigestor. Así, a menores temperaturas se requiere un mayor tiempo de retención que será necesario para que las bacterias que tendrán menor actividad, tengan tiempo de digerir el lodo y de producir biogás.

Tabla 4. Tiempo de retención según temperatura.

REGION CARACTERISTICA	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO DE RETENCION (días)
Trópico	30	20
Valle	20	30
Altiplano	10	60

Fuente: Biodigestores familiares, Guía de diseño y manual de instalación (Jaime Martí Herrero, 2008)

La región donde se encuentra el sitio del proyecto establece el tiempo de retención debido a la temperatura del lugar.

#### 2.1.7.3.6 ESTIÉRCOL DISPONIBLE

La materia prima para la producción de biogás es el estiércol fresco. Se pueden considerar otro tipo de residuos orgánicos, pero en ningún caso residuos duros o de larga duración de descomposición. La materia prima que mayor cantidad de biogás produce es el estiércol de cerdo y las excretas humanas, pero el fertilizante que producen es muy ácido.

El estiércol más equilibrado es el de vaca, además que por animal se produce gran cantidad de estiércol, y por tanto es el más fácil de recoger.

De manera general, hay que calcular cuánto estiércol se dispone al día. Para ello hay que considerar el manejo del ganado que se realiza, ya que si es de pastoreo, el ganado duerme en la noche en un corral cercano a la vivienda, y solo se podrá recoger el 25% del estiércol producido por animal a lo largo del día. En caso de ganado tabulado todo el día cerca de la vivienda, todo el estiércol producido está disponible para ser introducido en el biodigestor. Se recomienda usar el estiércol necesario para la producción de biogás requerida, y dejar el sobrante para los usos tradicionales de abonado de los cultivos.

Se muestra la producción de estiércol fresco diario para diferentes animales, por cada 100 kilogramos de peso del animal (Ver Tabla 5).

Tabla 5. Producción de estiércol fresco diario.

Ganado	Kg de estiércol fresco producido por cada 100 kg de peso de animal
Cerdo	4
Bovino	8
Caprino	4
Conejos	3
Equino	7
Humano adulto	0.40 kg por adulto
Humano niño	0.20 kg por niño

Fuente: Biodigestores familiares, Guía de diseño y manual de instalación. Jaime Martí Herrero. Bolivia 2008.

Por tanto una vaca de 300 kg de peso produce al día 21kg de estiércol fresco, que en caso de ser pastoreada sólo se podrá recoger el 25% de ese estiércol, por tanto, 5.25 kg. Así como cinco cerdos de 70 kg cada uno producirá 14 kg de estiércol diario.

#### 2.1.7.3.7 CARGA DE MEZCLA DIARIA DE ENTRADA.

Todos los días hay que cargar el biodigestor con una carga de mezcla con una proporción de 1:4 estiércol con agua. De esta manera, una parte es de estiércol y cuatro de agua. A esto se le llama mezcla de carga diaria, estiércol más agua. Se recomienda mezclas de 1:4 para biodigestores tubulares, pero en el caso de estiércol de ganado bovino, una mezcla de 1:3 es suficiente como se ha visto experimentalmente. En biodigestores tipo chino la mezcla se realiza 1:1, pero en biodigestores tubulares conviene diluir mucho más el estiércol de forma que no se formen 'natas' en la superficie. Además, una buena dilución de la mezcla asegura

que el biodigestor realmente sea de flujo continuo, evitando que se atasque por exceso de materia sólida en su interior (Ver Esquema 1).

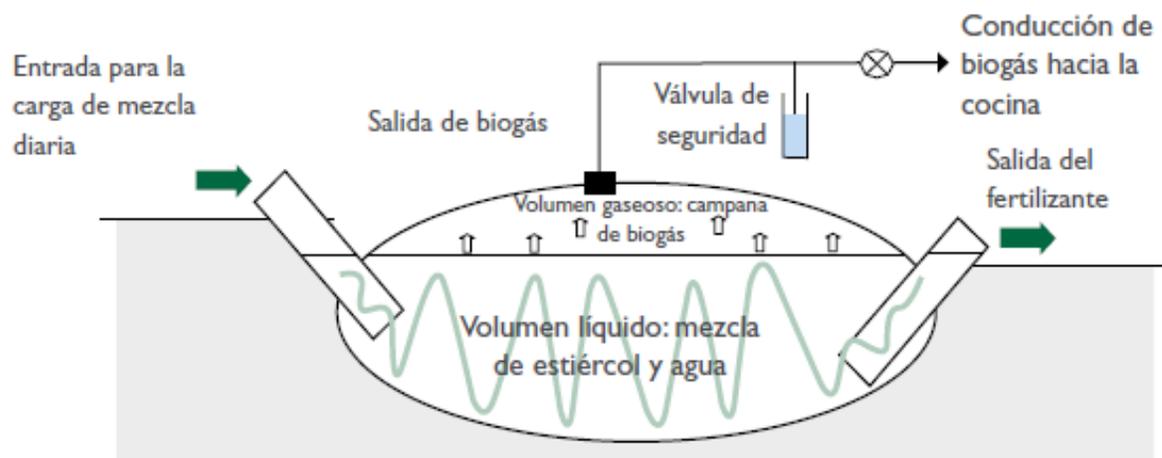
(Jaime Martí Herrero. Bolivia 2008, pág. 28)

URL <https://es.scribd.com/document/341126314/biodigestores-familiares-pdf>

Biodigestores tubulares que fueron cargados con relaciones de 1:2 de estiércol y agua, tuvieron que ser desatascados a los pocos meses, por acumularse exceso de materia sólida en su interior.

El suero de la leche de la vaca está dando muy buenos resultados en la producción de biogás, y si es posible, se puede sustituir parte del agua a introducir diariamente por los mismos litros de suero de vaca.

Esquema 1. Forma básica de un biodigestor y del inicio de la conducción de biogás hacia la cocina.



Se observa la entrada de carga de mezcla, el área de biogás, área de mezcla, válvula de seguridad, tubería de conducción y salida de biol.

#### 2.1.7.3.8 VOLUMEN TOTAL DE BIODIGESTOR.

El volumen total del biodigestor ha de albergar una parte líquida y otra gaseosa. Normalmente se da un espacio del 75% del volumen total a la fase líquida, y del 25% restante a la fase gaseosa.

El volumen total es la suma del volumen gaseoso y el volumen líquido.

Ecuación 1

$$T = VG + VL$$

Y por tanto el volumen líquido es tres cuartas partes del total:

Ecuación 2

$$VL = VT \times 0.75$$

El volumen gaseoso es una cuarta parte del total:

Ecuación 3

$$VG = VL \div 3$$

Y el volumen gaseoso será igual a una tercera parte del volumen líquido:

#### 2.1.7.3.9 VOLUMEN LÍQUIDO.

Para que la carga diaria de entrada pueda ser digerida por las bacterias, es necesario que esté en el interior del biodigestor tanto tiempo como el tiempo de retención estimado. Ya que el biodigestor tubular es de flujo continuo, el volumen líquido será el resultado de multiplicar el tiempo de retención por la carga diaria. De esta manera, si imaginamos el biodigestor vacío inicialmente y comenzamos a cargarlo de forma diaria, tardará tantos días como tiempo de retención se hayan considerado en llenarse. Y así, “tiempo de retención +1 día”, al cargar el biodigestor, se desbordará expulsando la carga del primer día ya digerida.

El volumen líquido de un biodigestor será el resultado de multiplicar la mezcla diaria de carga por el tiempo de retención.

#### 2.1.7.3.10 VOLUMEN GASEOSO.

Dentro del biodigestor, por estar en una situación anaerobia se va a producir biogás, y éste se acumulará en la parte superior. Al ser el biodigestor de polietileno tubular se formará una campana de biogás que sirve para almacenar gas y darle forma al biodigestor.

#### 2.1.7.3.11 PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.

La mezcla de estiércol con agua en el interior del biodigestor, en ausencia de aire, producirá biogás. Esta producción no es constante, y es un proceso que dura, más o menos, el tiempo de retención estimado según la temperatura de trabajo. De esta forma, un kilo de estiércol irá produciendo biogás de poco a poco a lo largo del tiempo de retención al que esté sometido.

Existen diferentes métodos para estimar la producción de biogás de un biodigestor según su carga diaria de estiércol, pero aquí se presenta lo que se denomina un “número mágico” para realizar este cálculo de forma sencilla.

La estimación de este “número mágico” se realiza a través de los conceptos de “sólidos totales” y “sólidos volátiles” (Ver Tabla 6). En la estimación se han considerado valores medios y por tanto el empleo de este “número mágico” sirve para tener una idea aproximada del volumen de biogás generado por día, siempre que se cumplan los tiempos de retención adecuados a cada temperatura de trabajo.

Tabla 6. Producción de Biogás.

Ganado	Número mágico (litros producidos por día por kilo de estiércol fresco cargado diariamente)
Cerdo	51
Bovino	35.3

Fuente: Biodigestores familiares, Guía de diseño y manual de instalación. Jaime Martí Herrero. Bolivia 2008.

La producción de biogás diario será el resultado de multiplicar la carga de estiércol diaria por el “número mágico”.

#### 2.1.7.3.12 CONSUMO DE BIOGÁS.

El biogás producido se emplea normalmente como sustituto de la leña, excreto de ganado seco o gas de garrafa, para cocinar. El poder calorífico del biogás es menor al del propano e implica que se tarda en cocer más tiempo los alimentos que cuando se hace con gas natural o de garrafa. El consumo de una cocina doméstica normal se puede estimar en 130-170 litros por hora.

El biogás también se puede emplear para iluminación en lámparas de gas comerciales. El consumo de estas lámparas varía según el fabricante pero se puede considerar un consumo de 90 a 130 litros por hora (Ver Tabla 7).

Cuando se produce gran cantidad de biogás éste se puede emplear en calefacción de chiqueros y cría de pollos e incluso conectarlo a un motor para su funcionamiento.

Tabla 7. Equivalencias energéticas del biogás.

1000 Litros (1 m<sup>3</sup>) de biogás equivale a:

Madera	1.3 Kg
Bosta Seca	1.2 Kg
Alcohol	1.1 litros
Gasolina	0.75 litros
Gas-Oíl	0.65 litros
Gas Natural	0.76 m <sup>3</sup>
Carbón	0.7 Kg
Electricidad	2.2 KW/h

Fuente: Biodigestores familiares, Guía de diseño y manual de instalación. Jaime Martí Herrero. Bolivia 2008.

Equivalencia de la capacidad energética de 1000 litros de biogás a otra fuente de energía.

#### 2.1.7.3.13 PRODUCCIÓN DE FERTILIZANTE.

La carga de mezcla diaria de estiércol con agua que se introduce al biodigestor será digerida por las bacterias y se producirá biogás. Pero por otro lado quedará un líquido ya digerido, que ha producido todo el biogás que podía, y que se convierte en un excelente fertilizante. A este fertilizante se le suele llamar de forma general biol. Es cierto que en algunos documentos diferencian entre su parte más líquida y su parte sólida, llamando a la primera biol y a la segunda biosol. El fertilizante producido tiene un contenido en nitrógeno de 2 a 3%, de fósforo de 1 a 2%, de potasio entorno al 1% y entorno a un 85% de materia orgánica con un PH de 7.5.

Para producir un mejor fertilizante es interesante aumentar los tiempos de retención, de manera que el lodo se descomponga más, y sea de mayor calidad y más fácil de asimilar por las plantas. El fertilizante que sale de un biodigestor con

los tiempos de retención expresados en la Tabla 8 es muy bueno, pero si aumentamos estos tiempos de retención en un 25% es excelente.

Tabla 8. Tiempo de retención según temperatura para mejor fertilizante.

Región característica	temperatura	Tiempo de retención (Días)
Trópico	30	25
Valle	20	37
Altiplano	10	75

Fuente: Biodigestores familiares, Guía de diseño y manual de instalación. Jaime Martí Herrero. Bolivia 2008.

Aumentar el tiempo de retención implica un mayor volumen del biodigestor y por tanto un mayor coste en materiales.

#### 2.1.7.3.14 APLICACIONES DEL FERTILIZANTE

Existen diferentes experiencias en el uso del biol producido en un biodigestor y aquí se presentarán tres de ellas básicas explicadas de acuerdo a los tiempos de los cultivos.

- Inicialmente, cuando el terreno se ara, se puede usar el fertilizante recién salido del biodigestor para regar cada surco.
- El día antes de sembrar, se pueden introducir las semillas o grano en una mezcla de 1 a 1 de fertilizante con agua por un tiempo de 4 o 5 horas.
- Una vez en crecimiento la planta, se puede filtrar el fertilizante y fumigar las plantas con una mezcla de una parte de fertilizante y 4 de agua. Funciona muy bien fumigar tras una helada, así como cuando ya comienza el fruto a aparecer, pero nunca durante la floración, ya que podría llegar a quemar la planta.

(Jaime Martí Herrero. Bolivia 2008, pág. 29)

URL <https://es.scribd.com/document/341126314/biodigestores-familiares-pdf>

## 2.2 MARCO JURÍDICO

### 2.2.1 CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DE EL SALVADOR

#### TITULO V. ORDEN ECONOMICO

Art. 117.- Es deber del estado proteger los recursos naturales, así como la diversidad e integridad del medio ambiente, para garantizar el desarrollo sostenible.

Se declara de interés social la protección, conservación, aprovechamiento racional, restauración o sustitución de los recursos naturales, en los términos que establezca la ley.

Se prohíbe la introducción al territorio nacional de residuos nucleares y desechos tóxicos.

Decreto Legislativo N° 7, publicado en el Diario Oficial de El Salvador N° 90, Tomo 359, de 20 de mayo de 2003. Art. 117

### 2.2.2 LEY DE MEDIO AMBIENTE

#### PARTE I. DISPOSICIONES GENERALES

#### TITULO I. DEL OBJETO DE LA LEY

#### CAPITULO ÚNICO

#### OBJETO DE LA LEY

Art. 1.- La presente ley tiene por objeto desarrollar las disposiciones de la Constitución de la República, que se refieren a la protección, conservación y recuperación del medio ambiente; el uso sostenible de los recursos naturales que permitan mejorar la calidad de vida de las presentes y futuras generaciones; así como también, normar la gestión ambiental, pública y privada y la protección ambiental como obligación básica del Estado, los municipios y los habitantes en

general; y asegurar la aplicación de los tratados o convenios internacionales celebrados por El Salvador en esta materia.

#### PRINCIPIOS DE LA POLÍTICA NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE.

Art. 2.- La política nacional del medio ambiente, se fundamentará en los siguientes principios:

a) Todos los habitantes tienen derecho a un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado. Es obligación del estado tutelar, promover y defender este derecho de forma activa y sistemática, como requisito para asegurar la armonía entre los seres humanos y la naturaleza;

b) La adaptación al cambio climático deberá planificarse bajo los principios de responsabilidades comunes pero diferenciadas y de aprovechamiento racional con responsabilidad intergeneracional;

c) El desarrollo económico y social debe ser compatible y equilibrado con el medio ambiente; tomando en consideración el interés social señalado en el art. 117 de la constitución;

d) Se deberá asegurar el uso sostenible, disponibilidad y calidad de los recursos naturales, como base de un desarrollo sustentable y así mejorar la calidad de vida de la población;

e) Es responsabilidad de la sociedad en general, del estado y de toda persona natural y jurídica, reponer o compensar los recursos naturales que utiliza para asegurar su existencia, satisfacer sus necesidades básicas, de crecimiento y desarrollo, así como enmarcar sus acciones, para atenuar o mitigar su impacto en el medio ambiente; por consiguiente se procurará la eliminación de los patrones de producción y consumo no sostenible; sin defecto de las sanciones a que esta ley diere lugar;

f) En la gestión de protección del medio ambiente, prevalecerá el principio de prevención y precaución;

g) La contaminación del medio ambiente o alguno de sus elementos, que impida o deteriore sus procesos esenciales, conllevará como obligación la restauración o compensación del daño causado debiendo indemnizar al estado o a cualquier persona natural o jurídica afectada en su caso, conforme a la presente ley;

h) La formulación de la política nacional del medio ambiente, deberá tomar en cuenta las capacidades institucionales del estado y de las municipalidades, los factores demográficos, los niveles culturales de la población, el grado de contaminación o deterioro de los elementos del ambiente, y la capacidad económica y tecnológica de los sectores productivos del país;

i) La gestión pública del medio ambiente debe ser global y transectorial, compartida por las distintas instituciones del estado, incluyendo los municipios y apoyada y complementada por la sociedad civil, de acuerdo a lo establecido por esta ley, sus reglamentos y demás leyes de la materia;

j) En los procesos productivos o de importación de productos deberá incentivarse la eficiencia ecológica, estimulando el uso racional de los factores productivos y desincentivándose la producción innecesaria de desechos sólidos, el uso ineficiente de energía, del recurso hídrico, así como el desperdicio de materias primas o materiales que pueden reciclarse;

k) En la gestión pública del medio ambiente deberá aplicarse el criterio de efectividad, el cual permite alcanzar los beneficios ambientales al menor costo posible y en el menor plazo, conciliando la necesidad de protección del ambiente con las de crecimiento económico;

l) Se potencia la obtención del cambio de conducta sobre el castigo con el fin de estimular la creación de una cultura proteccionista del medio ambiente;

m) Adoptar regulaciones que permitan la obtención de metas encaminadas a mejorar el medio ambiente, propiciando una amplia gama de opciones posibles para su cumplimiento, apoyados por incentivos económicos que estimulen la generación de acciones minimizantes de los efectos negativos al medio ambiente;

n) La educación ambiental se orientará a fomentar la cultura ambientalista a fin de concientizar a la población sobre la protección, conservación, preservación y restauración del medio ambiente.

## TITULO V. PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN

### CAPITULO I. DISPOSICIONES ESPECIALES

#### DEBERES DE LAS PERSONAS E INSTITUCIONES DEL ESTADO

Art. 42.- Toda persona natural o jurídica, el Estado y sus entes descentralizados están obligados, a evitar las acciones deteriorantes del medio ambiente, a prevenir, controlar, vigilar y denunciar ante las autoridades competentes la contaminación que pueda perjudicar la salud, la calidad de vida de la población y los ecosistemas, especialmente las actividades que provoquen contaminación de la atmósfera, el agua, el suelo y el medio costero marino.

## TITULO XII. INFRACCIONES, SANCIONES, DELITOS Y RESPONSABILIDAD AMBIENTAL

### CAPITULO I. RESPONSABILIDAD ADMINISTRATIVA Y CIVIL

#### RESPONSABILIDAD POR CONTAMINACIÓN Y DAÑOS AL AMBIENTE

Art. 85.- Quien por acción u omisión, realice emisiones, vertimientos, disposición o descarga de sustancias o desechos que puedan afectar la salud humana, ponga en riesgo o causare un daño al medio ambiente, o afectare los procesos

ecológicos esenciales o la calidad de vida de la población, será responsable del hecho cometido o la omisión, y estará obligado a restaurar el medio ambiente o ecosistema afectado. En caso de ser imposible esta restauración, indemnizará al Estado y a los particulares por los daños y perjuicios causados".

Decreto No. 233, Tomo No. 339, Numero 79, Diario Oficial República de El Salvador, América Central, San Salvador lunes 4 de mayo de 1998. Art.1-2, 4, 42 y 85.

### 2.2.3 CÓDIGO DE SALUD

#### CAPÍTULO II. DE LAS ACCIONES PARA LA SALUD

##### SECCIÓN SIETE. SANEAMIENTO DEL AMBIENTE URBANO Y RURAL

- a) El abastecimiento de agua potable;
- b) La disposición adecuada de excretas y aguas servidas;
- c) La eliminación de basuras y otros desechos;
- ch) La eliminación y control de insectos vectores, roedores y otros animales dañinos;
- d) La higiene de los alimentos;
- e) El saneamiento y buena calidad de la vivienda y de las construcciones en general;
- f) El saneamiento de los lugares públicos y de recreación;
- g) La higiene y seguridad en el trabajo;
- h) La eliminación y control de contaminaciones del agua de consumo, del suelo y del aire;
- i) La eliminación y control de otros riesgos ambientales.

Art. 57.- El Ministerio por medio de sus organismos tendrá facultades de intervención y control en todo lo que atañe a las actividades de saneamiento y obras de ingeniería sanitaria.

Art. 58.- El Ministerio tiene facultades, en caso de grave riesgo para la salud, inspeccionar por medio de sus delegados el interior de casas, locales, predios públicos y privados. Los moradores, dueños y demás personas que tengan a cargo dichos inmuebles están en la obligación de permitir su acceso.

Los que contravengan lo dispuesto en este artículo incurrirán en las penas que este Código señale o lo que sus reglamentos establezcan.

Art. 59.- Cuando se comprobaren deficiencias higiénicas o de saneamiento, el Ministerio ordenará a quien corresponda proceder a subsanar o corregir tales deficiencias.

Art. 60.- El Ministerio exigirá a los organismos competentes la demolición de las edificaciones que constituyan grave riesgo para la salud de las personas, cuando las mismas se encuentren en pésimo estado o afecten la salud física o mental o que amenacen ruinas por condiciones que no admitan reparación.

Decreto Número 955, Tomo N° 299, Diario Oficial. N° 86, República de El Salvador, América Central, San Salvador Fecha: 11 de Mayo de 1988, Art. 58-60

## 2.2.4 REGLAMENTO ESPECIAL PARA EL MANEJO INTEGRAL DE LOS DESECHOS SÓLIDOS

### TITULO I. DISPOSICIONES GENERALES

#### CAPITULO UNICO

Art. 3.- Los conceptos y sus correspondientes definiciones empleados en este Reglamento, constituyen los términos claves para la interpretación del mismo, y se entenderán en el significado que a continuación se expresa, sin perjuicio de los conceptos empleados en la Ley, así los contenidos en los instrumentos internacionales sobre la materia.

d) Compostaje: Proceso de manejo de desechos sólidos, por medio del cual los desechos orgánicos son biológicamente descompuestos, bajo condiciones controladas, hasta el punto en que el producto final puede ser manejado, embodegado y aplicado al suelo, sin que afecte negativamente el medio ambiente.

g) Desechos Sólidos: Son aquellos materiales no peligrosos, que son descartados por la actividad del ser humano o generados por la naturaleza, y que no teniendo una utilidad inmediata para su actual poseedor, se transforman en indeseables.

p) Reciclaje: Proceso que sufre un material o producto para ser reincorporado a un ciclo de producción o de consumo, ya sea el mismo en que fue generado u otro diferente.

#### CAPITULO IV. DEL TRATAMIENTO Y APROVECHAMIENTO

##### Tratamiento de desechos sólidos

Art. 11.- La utilización del Sistema de Tratamientos de Desechos Sólidos en el país dependerá fundamentalmente de la naturaleza y la composición de los desechos. Para los efectos del presente Reglamento, se identifican los siguientes Sistemas de Tratamiento:

- a) Compostaje;
- b) Recuperación, que incluye la reutilización y el reciclaje; y
- c) Aquéllos específicos que prevengan y reduzcan el deterioro ambiental y que faciliten el manejo integral de los desechos. Para la aplicación de estos Sistemas de Tratamientos se requerirá la obtención del permiso ambiental.

## CAPITULO III: DISEÑO DE BIODIGESTOR FAMILIAR PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOL

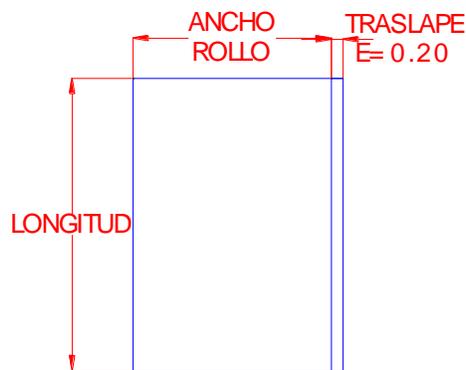
### 3.1 DISEÑO DEL BIODIGESTOR

Principalmente se debe definir con qué material se planea hacer un biodigestor, en este caso se explicara el diseño para un biodigestor a partir de plástico nylon negro, ya que éste significa bajos costos y fácil elaboración.

Del plástico nylon negro se debe de saber el ancho de rollo que se obtiene normalmente en el mercado. Esto se determina midiendo a lo ancho teniendo el cuidado de extenderlo bien ya que siempre viene doblado por mitad.

#### 3.1.1 DISEÑO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

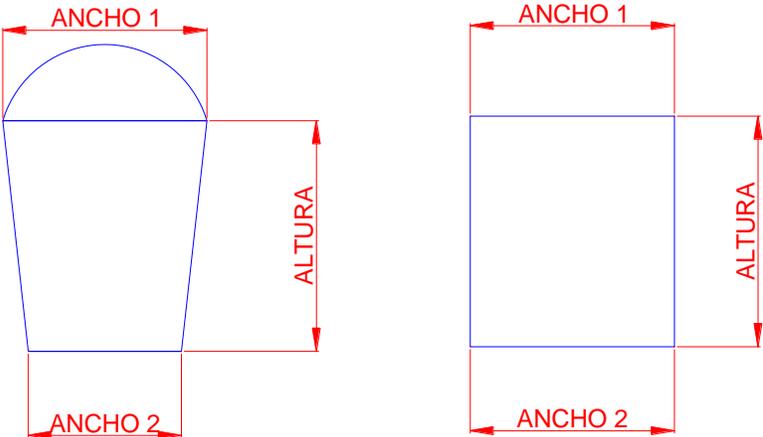
Conociendo el ancho de rollo, se determina el perímetro de nuestro cilindro sin tomar en cuenta el ancho que se pegara del plástico para formar el cilindro, es decir el traslape (Ver Esquema 2).



Esquema 2. Se puede observar que el traslape para formar los cilindros será de 20 centímetros.

Ya conociendo este perímetro se procede a pre dimensionar la zanja en la cual será confinado el cilindro. La sección de la zanja cotidianamente es un trapecio invertido o una sección rectangular (Ver Esquema 3).

Para pre dimensionar la zanja se debe definir un ancho superior, un ancho inferior y una altura, en caso que la zanja tenga sección transversal rectangular el ancho superior es el mismo ancho inferior.



Esquema 3. La sección de la Zanja puede ser trapezoidal o rectangular.

Ya con los valores de la zanja se considera que tiene un 72.5%±2.5% del área del biodigestor y por ende el 22.5%±2.5% restante pertenece al área de la cúpula (Esquema 4). Por lo cual se hace en esta relación los siguientes procedimientos.

Con el área de la zanja se puede conocer el área que debe tener la cúpula, para ellos se debe hacer uso de una relación matemática que se conoce como la “relación de tres simple” realizando lo siguiente

Área de zanja propuesta-----	72.5%±2.5%
Área de cúpula propuesta-----	22.5%±2.5%

Ecuación 4

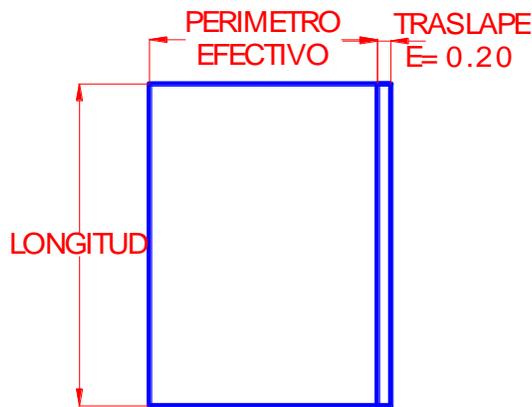
$$\text{Área de cupula propuesta} = \frac{(22.5\% \pm 2.5\%) \times (\text{Área de zanja propuesta})}{72.5\% \pm 2.5\%}$$



Esquema 4. Área de cúpula preliminar.

Luego de obtener el área que debe ocupar propuesta con respecto a la zanja propuesta se debe tener en cuenta que debido a que el área de zanja es una propuesta y no así es a ciencia cierta la verdadera área, no se puede saber así si el ancho de rollo alcanza para contener estas áreas, para lo cual se procede a calcular cual será el área que se puede obtener.

Se debe de calcular el área de cúpula por medio de obtener el perímetro; éste será el ancho de rollo menos el traslape, dicho traslape es donde se hace la unión del plástico lo cual será de 0.20m (Ver Esquema 5).

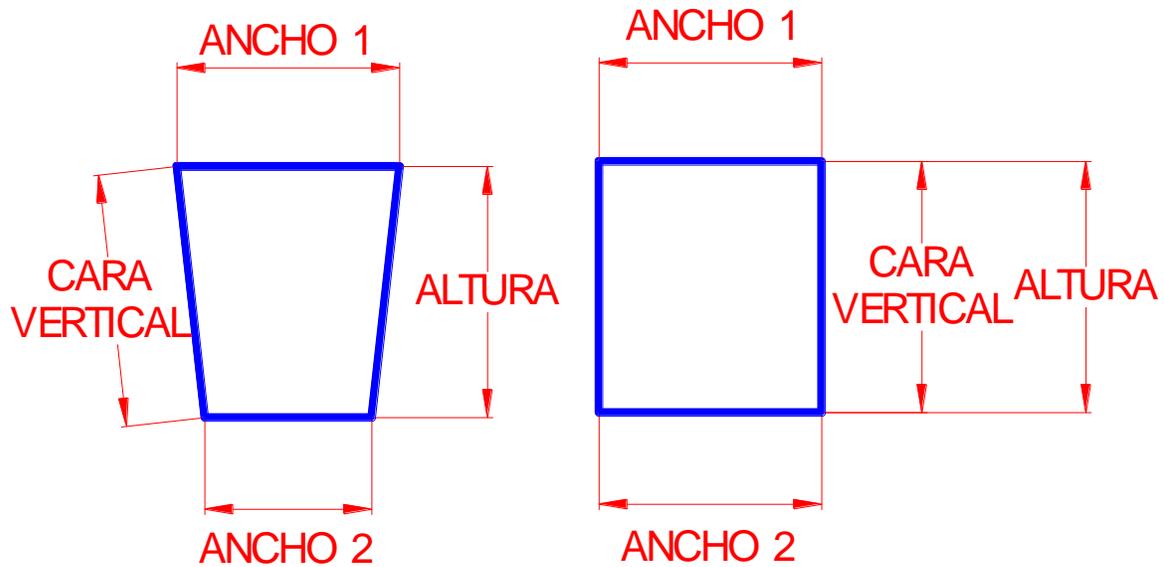


Esquema 5. La resta del ancho de rollo menos traslape se le denominara como perímetro efectivo.

Para obtener el perímetro de cúpula se tiene que, al perímetro efectivo se le debe restar el perímetro mojado de la zanja que es la suma de las longitudes las caras de la zanja (Ver Esquema 6).

Ecuación 5.

$$\text{Perímetro de cúpula} = (\text{perímetro efectivo}) - (\text{cara vertical de zanja}) \times 2 - (\text{cara horizontal de zanja})$$



Esquema 6. El perímetro efectivo dependerá de la forma que se le haya proporcionado a la zanja.

Al tener este perímetro se debe de conocer el área de la cúpula (Ver Esquema 7) que se obtiene que las siguientes ecuaciones:

Ecuación 6.

$$\theta \Pi C = 2(180) L \text{Sen} \frac{\theta}{2}$$

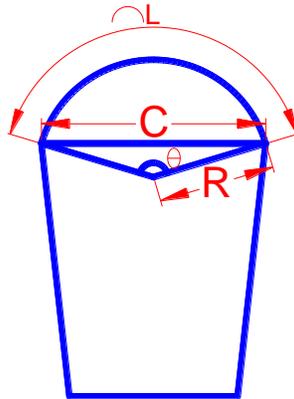
Dónde:

$\theta$ = Angulo de radio de cúpula

$\Pi$ = 3.1416...

L= Perímetro de cúpula

C= Ancho 1 de zanja



Esquema 7. El área de cúpula es la que mantendrá contenido el biogás.

Nota: para despejar el ángulo  $\theta$  se puede hacer uso de programas que resuelvan la ecuación como por ejemplo la calculadora CASIO fx-570.

Despejando el ángulo  $\theta$  y al obtener el resultado del ángulo se sustituye en la ecuación:

Ecuación 7:

$$R = \frac{180 \times (\text{Perimetro de cupula})}{(\theta) \times (\pi)}$$

Al obtener R se resuelve la siguiente ecuación

Ecuación 8:

$$\text{Área de sector de circulo} = \frac{(\theta) \times (R)^2 \times (\pi)}{360}$$

Al obtener el área de sector de circulo se debe de restar el triángulo que se forma abajo del área de la cúpula para lo cual se resuelve la siguiente ecuación

Ecuación 9:

$$\text{Área de cupula} = \text{área de sector de circulo} - \frac{(\text{ancho } 1)^2 \times \sqrt{-\left(\frac{\text{ancho } 1}{2}\right)^2 + R^2}}{2}$$

Al obtener el área de la cúpula se obtiene su porcentaje de la siguiente manera

$$\begin{aligned} \text{Área de zanja} & \text{-----} 72.5\% \pm 2.5\% \\ \text{Área de cúpula} & \text{-----} X\% \end{aligned}$$

Donde x% es el porcentaje del área de cúpula y se obtiene resolviendo la regla de tres simple anterior:

Ecuación 10:

$$X\% = \frac{(\text{Área de cúpula}) \times (72.5\% \pm 2.5\%)}{\text{Área de zanja}}$$

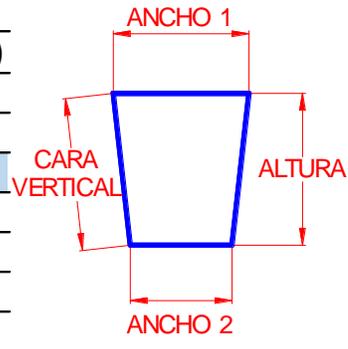
Luego se iguala este resultado al resultado del área de cúpula propuesta y si esta coincide o tiene un margen de error de  $\pm 2.5\%$  se considera aceptable y se deja esas dimensiones de cúpula, por el contrario si estas no coinciden se debe de redimensionar el alto y ancho de la zanja ya sea disminuyendo o aumentando sus dimensiones dependiendo el caso de los resultados. Si el porcentaje del área de la cúpula es más grande que el del área propuesta se debe de aumentar las dimensiones de la zanja caso contrario si el porcentaje de la cúpula es más pequeño se debe de disminuir las dimensiones de la zanja, hacer esto hasta que el porcentaje de área de cúpula sea un porcentaje aceptable. (Ver tabla 9)

Tabla 9. Tabla con secciones recomendadas según ancho de rollo.

Ancho de Rollo	Dimensiones de zanja			Seccion
<b>Sección rectangular</b>				
Perimetro (m)	Alto (m)	Ancho 1 (m)	Ancho 2 (m)	
4.00	0.90	0.90	0.90	
3.60	0.85	0.75	0.75	
3.40	0.75	0.80	0.80	
3.00	0.70	0.65	0.65	
2.50	0.60	0.55	0.55	
2.00	0.50	0.40	0.40	
1.50	0.35	0.35	0.35	

Para el caso del prototipo es una sección rectangular y los cálculos en la tabla son para secciones rectangulares.

Sección trapezoidal			
Perimetro (m)	Alto (m)	Ancho 1 (m)	Ancho 2 (m)
4.00	0.95	0.90	0.65
3.60	0.85	0.80	0.60
3.40	0.75	0.80	0.65
3.00	0.70	0.70	0.40
2.50	0.55	0.60	0.40
2.00	0.45	0.50	0.30
1.50	0.30	0.40	0.30



Otra forma podría ser la de una sección trapezoidal como se muestra.

Fuente: autoría propia

### 3.1.2 LONGITUD DE ZANJA

Para el dimensionamiento del volumen primero se tiene que conocer el consumo diario promedio de las viviendas el cual está definido con el consumo de 20kg de materia fecal mezclado con 60lts de agua, lo que da un volumen de  $0.076\text{m}^3$ , este valor produce 4 horas de llama que es el promedio de horas de consumo por día en cada vivienda.

Conociendo ya el consumo promedio por día se tiene que calcular el volumen requerido por consumo en el mes lo cual se obtiene multiplicando 7 días por el volumen promedio por día de consumo de la vivienda, con lo que se obtiene un volumen promedio por semana; al tener este volumen se multiplica por 4 semanas y esto da como resultado el volumen promedio por mes.

Ecuación 11:

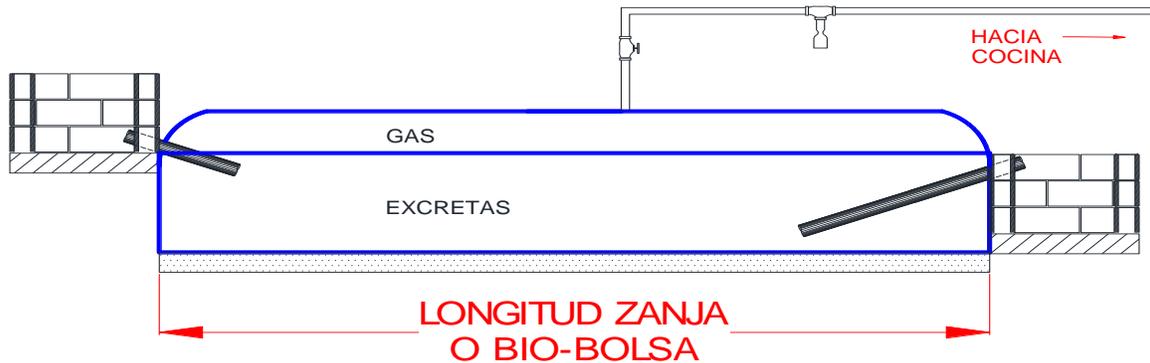
$$(\text{Volumen promedio por semana}) = (\text{Volumen promedio por día}) \times (7 \text{ días})$$

Ecuación 12:

$$(\text{Volumen promedio por mes}) = (\text{Volumen promedio por semana}) \times (4 \text{ semanas})$$

Al tener el volumen promedio por mes se tiene que obtener la longitud lo cual se obtiene dividiendo el volumen obtenido entre el área transversal de la zanja (Ver Esquema 8).

Longitud de zanja = (Volumen promedio por mes) / (área transversal de zanja)



Esquema 8. La figura muestra como permanecerá instalado el biodigestor en el sitio.

A continuación se le presenta la tabla 10 con longitudes recomendadas dependiendo de su ancho de rollo y con el volumen 2.128m<sup>3</sup> del consumo de una vivienda promedio.

Tabla 10. Longitudes recomendadas dependiendo de su ancho de rollo

Ancho de Rollo	Volumen de casa promedio 2.128m <sup>3</sup>			Seccion
<b>Sección rectangular</b>				
Perimetro (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Longitud (m)	Semanas	
4.00	0.81	2.63	4.00	
3.60	0.64	3.34	4.00	
3.40	0.60	3.55	4.00	
3.00	0.46	4.68	4.00	
2.50	0.33	4.84	3.00	
2.00	0.20	5.32	2.00	
1.50	0.12	4.34	1.00	
<b>Sección trapezoidal</b>				
Perimetro (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Longitud (m)	Semanas	
4.00	0.74	2.89	4.00	
3.60	0.60	3.58	4.00	
3.40	0.54	3.91	4.00	
3.00	0.39	5.53	4.00	
2.50	0.28	4.84	2.50	
2.00	0.18	5.91	2.00	
1.50	0.11	5.07	1.00	

Longitudes de biobolsa según área y tipo de sección.

Fuente: autoría propia.

### 3.1.2.1 DIMENSIONAMIENTO DE PRUEBA PILOTO

A continuación se presenta los datos para la prueba piloto de un biodigestor el cual será dimensionado con respecto al ancho de rollo de plástico nylon.

Siguiendo los pasos descritos anteriormente se define:

El ancho de rollo en las ferreterías de Chalchuapa es de 3.60m.

El perímetro efectivo considerando un traslape de 0.20m en este caso es:

$$\text{Perímetro efectivo} = 3.60 - 0.20 = 3.40\text{m}$$

La zanja que define es de sección transversal rectangular para lo cual lo se define con alto 0.75m y con ancho 0.80m, debido a que es de sección rectangular el ancho superior y el ancho inferior es igual.

El área de la zanja es de 0.60m<sup>2</sup> con ello se realiza la relación de tres simple con lo cual se define para el área de la zanja 75% por ser lo máximo permisible y por ende el área de cúpula propuesta es de 25%

Área de zanja propuesta-----75%

Área de cúpula propuesta-----25%

$$\text{Área de cupula propuesta} = \frac{(25\%) \times (\text{Área de sanja propuesta})}{75\%}$$

$$\text{Área de cupula propuesta} = \frac{(25\%) \times (0.60)}{75\%}$$

$$\text{Área de cupula propuesta} = 0.20\text{m}^2$$

El perímetro de la cúpula es:

Perímetro de cupula

= (perímetro efectivo) - (cara vertical de sanja) x 2 - (cara horizontal de saja)

$$\text{Perímetro de cupula} = (3.40) - (0.75) \times 2 - (0.80)$$

$$\text{Perímetro de cupula} = 1.10\text{m}$$

Obtención del ángulo  $\theta$

$$\theta \pi C = 2(180) L \text{Sen} \frac{\theta}{2}$$

Dónde:

$\theta$ = Angulo de radio de cúpula

$\pi$ = 3.1416...

L= Perímetro de cúpula

C= Ancho 1 de zanja

$$\theta \pi (0.80) = 2(180)(1.10) \text{Sen} \frac{\theta}{2}$$

$$\theta = 153.3^\circ$$

Nota: para despejar el ángulo  $\theta$  se puede hacer uso de programas que resuelvan la ecuación como por ejemplo la calculadora CASIO fx-570.

Obtención de radio de cúpula

$$R = \frac{180x(\text{Perimetro de cupula})}{(\theta)x(\pi)}$$

$$R = \frac{180x(1.10)}{(153.3)x(\pi)}$$

$$R = 0.41m$$

Obtención de área de sector de círculo

$$\text{area de sector de circulo} = \frac{(153.3)x(0.41)^2x(\pi)}{360}$$

$$\text{area de sector de circulo} = 0.226m^2$$

Obtención de área de cúpula

$$\text{Área de cupula} = \text{área de sector de circulo} - \frac{(\text{ancho } 1)^2 \left( \sqrt{-\left(\frac{\text{ancho } 1}{2}\right)^2 + R^2} \right)}{2}$$

$$\text{Área de cupula} = 0.226 - \frac{(0.80)^2 \left( \sqrt{-\left(\frac{0.80}{2}\right)^2 + 0.41^2} \right)}{2}$$

$$\text{Área de cupula} = 0.188m^2$$

Porcentaje de área de cúpula obtenida

Área de zanja-----75%

Área de cúpula-----X%

$$X\% = \frac{(\text{Área de cúpula}) \times (75\%)}{\text{Área de zanja}}$$

$$X\% = \frac{(0.188) \times (75\%)}{0.60}$$

$$X\% = 24\%$$

Ya que el porcentaje de área de cúpula esta entre el margen de error de 2.5% que va del 20% a 25% del área total, se considera esta área obtenida como la correcta.

### 3.1.3 LONGITUD DE BIOBOLSA

En el caso de la prueba piloto se define que el consumo por día es 5.6 horas de cocina por día, ya que se llevan a cabo actividades de cocina de chicharra, un derribado del cerdo, lo que hace que el consumo gas aumente y por ello el promedio por día también aumente.

Debido a que se tiene un consumo de promedio día diferente se debe calcular el volumen que se requiere de materia prima por día, esto se obtiene relacionando el consumo promedio día de una vivienda normal entre el consumo promedio día de la vivienda en estudio que es en este caso la prueba piloto; esta comparación se realiza con una relación de tres simple.

Horas de consumo promedio día ----- Vol. promedio día

Horas de consumo promedio día prueba piloto ----- Vol. promedio día prueba piloto

Tal relación se resuelve multiplicando las horas de consumo de la prueba piloto por el volumen promedio día y dividiéndolo entre las horas de consumo.

Vol. promedio día prueba piloto = (Horas de consumo promedio día prueba piloto) x (Vol. promedio día) / (Horas de consumo promedio día).

$$\text{Vol. promedio día prueba piloto} = \frac{(\text{Horas de consumo promedio día prueba piloto}) \times (\text{Vol. promedio día})}{(\text{Horas de consumo promedio día})}$$

$$\text{Vol. promedio día prueba piloto} = \frac{(5.6 \text{ horas de cocina}) \times (0.076 \text{ m}^3)}{(4.0 \text{ horas de cocina})}$$

$$\text{Vol. promedio día prueba piloto} = 0.106 \text{ m}^3$$

Al obtener el volumen se continúa con los pasos antes planteados.

Obtención de volumen por mes:

$$(\text{Volumen promedio por semana}) = (\text{Volumen promedio por día}) \times (7 \text{ días})$$

$$(\text{Volumen promedio por semana}) = (0.106 \text{ m}^3) \times (7 \text{ días})$$

$$(\text{Volumen promedio por semana}) = 0.7488 \text{ m}^3$$

$$(\text{Volumen promedio por mes}) = (\text{Volumen promedio por semana}) \times (4 \text{ semanas})$$

$$(\text{Volumen promedio por mes}) = (0.7448) \times (4 \text{ semanas})$$

$$(\text{Volumen promedio por mes}) = 2.9792 \text{ m}^3/\text{mes}$$

Longitud de la zanja

$$\text{Longitud de zanja} = (\text{Volumen promedio por mes}) / (\text{área transversal de zanja})$$

$$\text{Longitud de zanja} = (2.9792) / (0.60)$$

$$\text{Longitud de zanja} = 4.97 \text{ m} \approx 5 \text{ m}$$

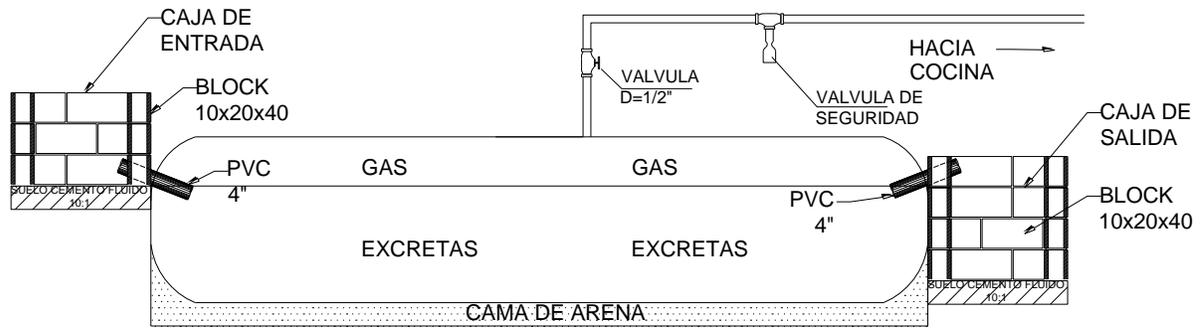
### 3.1.3.1 EQUILIBRIO HIDRÁULICO

El biodigestor tubular es de flujo continuo, y por tanto no es necesario vaciarlo normalmente a lo largo de su vida útil. Se produce un equilibrio hidráulico por el que cada día al realizar la mezcla de carga por la entrada, desplazará el lodo interior, y rebosará por el otro extremo, la salida, la misma cantidad pero del material ya digerido. Esta carga se puede realizar dependiendo de la capacidad de adquisición de la materia orgánica, este no debe de sobrepasar una semana la entrada de nuevo material.

Por tanto, el rebalse o rebose del lodo interior, es definido por la altura de la boca del tubo de salida. Este nivel corresponderá, por tanto con la profundidad de la zanja, para que de esta manera, el lodo en el interior del biodigestor, alcance dicha altura, y el volumen del líquido estimado corresponda con la realidad. Si la boca de salida está por debajo de la profundidad estimada, se estará reduciendo la altura del lodo en el interior (y por tanto reduciendo el volumen líquido y el tiempo de retención). Y si por el contrario la boca de salida se encuentra por encima de la profundidad estimada, se estará aumentando el volumen líquido, e impidiendo la formación de la cúpula superior que acumula gas.

## 3.2 CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR

Para la construcción e instalación de un biodigestor se necesita una semana y tres días, tomando en cuenta la excavación de la zanja y que se dispone de los materiales. La conducción de biogás hasta la cocina lleva también unas pocas horas, de acuerdo a la dificultad y distancias de cada caso. Pero ya que el biodigestor demorará en empezar a producir biogás unas semanas desde su carga inicial, se puede hacer este trabajo con tranquilidad durante este tiempo de espera (Ver Esquema 9).



Esquema 9. Esquema del sistema completo del biodigestor familiar, junto la con la conducción de biogás hasta la cocina, considerando la válvula de seguridad y el reservorio de biogás.

### 3.2.1 CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR.

En esta sección de describe la forma de cómo se elaboró paso a paso el biogestor familiar, utilizando materiales de bajo costo, teniendo en cuenta la población a la que está dirigida. Ésta sección tiene como fin dejar plasmado los pasos para la construcción del biodigestor familiar de manera que para las comunidades sea práctica.

#### 3.2.1.1 DESCRIPCIÓN DE EQUIPO Y MATERIALES.

##### A. Materiales a utilizar.

- a. Plástico negro nylon comercial.
- b. Accesorio hembra  $\frac{1}{2}$ " pvc
- c. Accesorio macho de  $\frac{1}{2}$ " pvc
- d. Tubo de  $\frac{1}{2}$ " pvc
- e. 25 metros de tubería  $\frac{1}{2}$ " pvc
- f. 4 codos  $\frac{1}{2}$ " pvc
- g. Tee  $\frac{1}{2}$ " pvc
- h. Llave de bola de  $\frac{1}{2}$ " de pvc
- i. Tubo de 4" pvc para drenaje
- j. Pegamento para PVC
- k. Cinta teflón.

- l. Pega de zapato amarilla.
- m. Tubo de llanta de carro
- n. Tubo de llanta de bicicleta
- o. Tapadera plástica de cubeta.
- p. Arena de rio.
- q. Grava
- r. Block 10X20X40 cm.
- s. Dado 10X20X20 cm.
- t. Cemento tipo GU A-150.
- u. Regla pacha.
- v. Cordel
- w. Pintura blanca.
- x. Clavos de 2" galvanizado
- y. Tierra blanca.
- z. Lija.
- aa. Cinta aislante.

B. Herramientas y equipo.

- a. Navaja
- b. Cinta métrica.
- c. Tijeras.
- d. Escantillón.
- e. Brocha de 4".
- f. Piocha.
- g. Pala.
- h. Cuchara de albañil.
- i. Plomada.
- j. Nivel.
- k. Martillo.
- l. Pisón artesanal.

### 3.2.1.2 PASOS PARA LA ELABORACION Y COLOCACION DEL BIODIGESTOR FAMILIAR

#### 1 Selección del lugar donde estará el biodigestor:

- 1.1 El biodigestor debe estar en un punto intermedio entre la cocina y el lugar donde duerma el ganado. Esto es para que la recogida de estiércol fresco cada mañana sea lo más fácil posible. Es importante considerar que la zanja del biodigestor no debe interrumpir el camino de animales o personas.
- 1.2 El biodigestor, deberá estar protegido por el sol por una semisombra o techo. En ambiente tropical y caluroso ya es suficiente para hacer funcionar correctamente el biodigestor, y por tanto su ubicación no tiene por qué estar orientada, y se debe buscar la facilidad de la construcción. En este caso es obligatoria la protección del biodigestor con un techo (Ver Foto 4).

Foto 4. Se observa la carga de materia prima al biodigestor



Fuente. Autoría Propia, Tenería San Francisco, 2017.

- 1.3 El biodigestor no debe tener ramas de árboles sobre él, ya que con el viento éstas pueden caer y dañarlo.
- #### 2 Dimensiones y acabado de la zanja.
- 2.1 Una vez ubicado el lugar donde estará el biodigestor se excavará una zanja. Las dimensiones de la zanja dependen del ancho de rollo que se use para el biodigestor (Ver Foto 5).

Foto 5. Se observa la canaleta para la biobolsa.



Fuente: Autoría Propia, Tenería San Francisco, 2017.

- 2.2 La zanja no ha de tener desnivel, aunque se permite hasta un 5% de desnivel. En este caso se tiene una zanja con un desnivel del 2 %.
- 2.3 Para la entrada y salida, se deberá cavar un canal inclinado, con un ángulo de 45° en sus paredes correspondientes. Una vez construida la zanja, se quitarán las piedras y raíces que asomen a ésta, para evitar que puedan dañar al biodigestor. Tras esto, se forran los laterales de la zanja, las cuatro paredes, con telas viejas de sacos. Se puede emplear también plásticos viejos de carpas solares. Finalmente, todas las paredes estarán recubiertas de forma que cuando se instaló el biodigestor, éste no sufrirá daño al rozarse con las paredes cuando se esté acomodando.
- 2.4 El fondo de la zanja, aun al descubierto se ha de forrar o rellenar, con arena fina de río, con paja o igualmente con telas de sacos viejos o plásticos. Esto es para que el biodigestor se acomode bien cuando se esté realizando la primera carga. En algún caso se ha rellenado el fondo con estiércol, de forma que al poner luego el biodigestor sobre éste, fermentará aumentando la temperatura y ayudando a que se inicie el proceso más rápidamente.

### 3 Elaboración de la biobolsa.

- 3.1 Las 18 yardas de plástico negro comercial, fueron cortadas en secciones de tres partes iguales (Ver foto 6), posteriormente fueron marcadas con el uso

de la pintura blanca apoyándose de un escantillón (Ver foto 7), luego se le debe aplicar pega para zapato tipo amarilla a ambos extremos de las secciones de plástico que iban a unirse utilizando la brocha de 4 pulgadas, se dejó reposar 25 minutos entre secciones unidas para garantizar una sólida adherencia (Ver foto 8).

Foto 6. Se observa el cortado del plástico nylon.



Fuente: Autoría Propia, Tenería San Francisco, 2017.

Foto 7. Se hace la marca de la pestaña a pegar.



Fuente. Autoría Propia, Tenería San Francisco, 2017.

Foto 8. Se realiza el pegado de las partes de plástico nylon.



Fuente: Autoría Propia, Tenería San Francisco, 2017.

- 3.2 Luego del reposo de la última sección se procedió a formar los cilindros, para esto se midieron los 20 centímetros con un escantillón y se marcaron con pintura blanca en un arista longitudinal, posteriormente se aplicó pega para zapato en la arista marcada con pintura blanca y el empalme más próximo a esta se dejó reposar 25 minutos, para garantizar una sólida unión, luego se procedió a la unión procurando que quede la mínima cantidad de arrugas (Ver foto 9).

Foto 9: Se forma los cilindros de plástico nylon.



Fuente: Autoría Propia, Tenería San Francisco, 2017.

#### 4 Construcción de cajas de entrada y salida

- 4.1 Se construye las cajas de entrada y salida de la biobolsa con Block 10x40x20 según los detalles constructivos (Ver foto 10).

Foto 10. Se mira la caja de descarga de materia prima.



Fuente: Autoría Propia, Tenería San Francisco, 2017.

## 5 Salida de biogás.

- 5.1 Utilizando dos discos rígidos de plástico de tapadera de cubeta a los que se les hace un agujero central del tamaño del macho de la tapadera de cubeta se cortaron dos porciones de 10cmx10cm a las cuales se le limaron las esquinas y se lijaron ambas caras.
- 5.2 Luego se procedió hacer el orificio en las porciones de tapadera de cubeta procurando que fuera del diámetro de la rosca del accesorio macho.
- 5.3 El caucho proveniente de un tubo de llanta se cortó 20cmx20cm al igual que el plástico de las tapaderas se cortaron dos porciones las cuales se lijaron y perforaron (Ver foto 11).

Foto 11. Materiales de conexión de salida de tubería para salida de gas.



Fuente: Autoría Propia, Tenería San Francisco, 2017.

- 5.4 Luego se pegó al accesorio macho un caucho y un plástico
- 5.5 Y por el orificio del cilindro del plástico negro se introdujo el accesorio macho y se procedió a pegar el plástico de la tapadera con el caucho (Ver foto 12).

Foto 12. Se observa los elementos para la salida del gas.



Fuente: Autoría Propia, Tenería San Francisco, 2017.

- 5.6 Se colocó el accesorio hembra y se usó para mayor adherencia cinta teflón con pega para PVC.
- 5.7 Se colocó el mecanismo de salida realizando un corte en la parte central de la manga de la biobolsa. Con unos discos de plástico, y apretando posteriormente, será una salida sellada al biodigestor que permitirá llevar el biogás hasta la cocina. Teniendo el mecanismo de salida, hay que hacer un corte pequeño sobre las dos capas de plástico. Conviene hacer este corte sobre la mitad del biodigestor, pero más cerca de la entrada.
- 5.8 Luego se esperó a que seicara por lo cual se dejó en reposo 5 minutos (Ver foto 13).

Foto 13. Se observa el punto de instalación de la tubería para salida del gas.



Fuente: Autoría Propia, Tenería San Francisco, 2017.

- 6 Tubos de entrada y salida.
  - 6.1 Se procedió a colocar los tubos de entrada y de salida con lo cual se usó tubo de 4 pulgadas.
  - 6.2 Los tubos de 4 pulgadas se llenaron de pega en las partes efectivas y se procedió a colocar el pastico en la parte efectiva y se enrolló con pita de nailon para asegurar su adherencia.
  - 6.3 Una vez hecha la salida de biogás, es momento de cerrar los extremos de la manga de plástico amarrándolos a las tuberías de entrada y salida. Ambos casos son idénticos (Ver foto 14).

Foto 14. Se prepara uno de los extremos de la biobolsa.



Fuente: Autoría Propia, Tenería San Francisco, 2017.

## 7 Introducción en la zanja.

- 7.1 El biodigestor ya construido hay que meterlo en la zanja preparada, con sus paredes forradas y el suelo relleno.
- 7.2 Para ellos lo mejor es desplegar el biodigestor, y entre varias personas transportarlo hasta la zanja formando 'un tren'. Cada persona tiene que preocuparse de que no roce con nada el plástico, para ello lo mejor es voltear los bordes laterales del biodigestor doblado hacia el centro. De este modo se inserta en la zanja.
- 7.3 Una vez ubicado dentro de la zanja, conviene revisar que la parte inferior no tenga arrugas, estirando de ambos extremos del biodigestor y si hace falta metiendo alguien dentro de la zanja. De existir arrugas, éstas luego no podrán ser quitadas, que el peso de los metros cúbicos de lodo en el interior del biodigestor lo impedirán (ver foto 15).

Foto 15. Se observa la biobolsa instalada desde la caja de entrada.

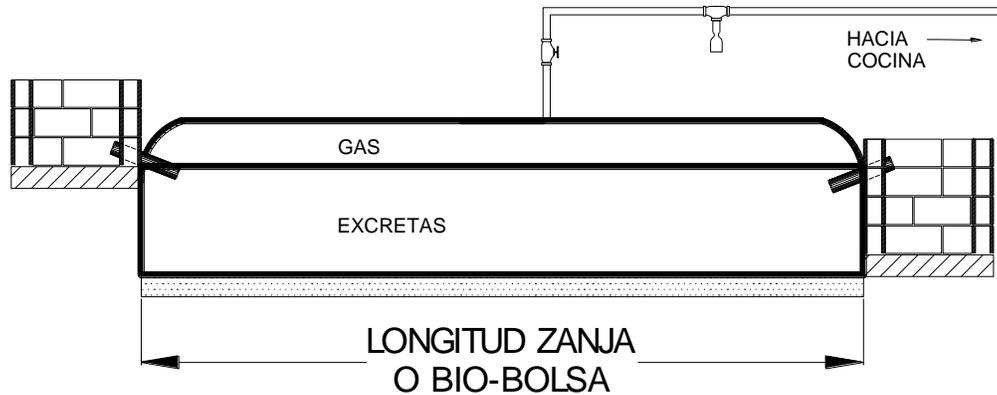


Fuente: Autoría Propia, Tenería San Francisco, 2017.

De esta forma se colocó en la zanja de 5 metros longitudinales y en los orificios de las cajas de block que están en cada extremo se introdujeron el tubo de entrada y salida en su caja respectiva.

## 8 Niveles de salida y lodo.

8.1 Asentado ya el biodigestor toca calcular los niveles de la tubería de salida y entrada. La profundidad de zanja corresponde con el nivel máximo que alcanzará el lodo dentro del biodigestor. Para que este sea el nivel, es necesario que la salida; la boca externa del tubo esté a ese nivel. Para ello se usa una manguera transparente para calcular el nivel (ver Esquema 10).



Esquema 10. Es muy importante colocar los tubos de entrada y salida para que el nivel del lodo sea óptimo. El nivel del lodo lo da la boca de salida, y tiene que ser equivalente a la profundidad de la zanja. El tubo de entrada se coloca de tal manera que la parte.

Una vez que la parte inferior de la boca externa del tubo de salida está al nivel para que el biodigestor se llene hasta una altura igual a la profundidad de la zanja, se ajustará el tubo de entrada. En este caso el tubo de entrada estará más elevado, y el nivel del lodo (que corresponde con el nivel de la salida) debe quedar en medio del amarre de la tubería de entrada. Determinados los niveles, conviene amarrar los tubos para que queden fijos. Cuando se empieza a cargar el biodigestor, éste va a jalar de los tubos hacia dentro de la zanja y por ello es necesario sujetarlo.

## 9 Primera carga de llenado.

- 9.1 Una vez instalado el biodigestor se procede a realizar la primera carga de estiércol y agua.
- 9.2 En esta carga lo más importante es echar buena cantidad de estiércol fresco y llenar hasta que las bocas interiores de los tubos de entrada y salida queden tapadas por el lodo. En cuanto se logre tapar la parte interior de los tubos, el aire ya no tendrá acceso al interior del biodigestor, esencial para que se produzca metano (ver foto 16 y 17).

Foto 16. Se observa la carga de materia prima.



Fuente: Autoría Propia, Tenería San Francisco, 2017.

Foto 17. Se observa la caja de entrada con materia prima.



Fuente: Autoría Propia, Tenería San Francisco, 2017.

- 9.3 Hecho esto, toca cada día alimentar al biodigestor con las carga de mezcla diaria estimada. Para los biodigestores modelo propuestos es de 20 kg de estiércol con 60 litros de agua.

## 10 Conducción de gas

Una vez instalado el biodigestor, es momento de continuar la conducción de biogás desde el biodigestor hacia la cocina.

El biodigestor instalado tiene la salida de biogás preparada, con una tubería de ½" de diámetro y un metro de longitud acabada en una llave de bola.

A partir de este punto, se continúa con tubería de ½" de PCV hasta la cocina. Esta debe ser de forma aérea, la tubería elevada sobre postes, o apoyada a cierta altura sobre una pared. Esto es para tener acceso a ella. Las longitudes máximas son 100 metros, ya que para mayores convendría usar tubería de mayor diámetro. Lo óptimo es tener el biodigestor entre 20 y 50 m de distancia a la cocina.

La conducción se hace directa, empleando codos y niples (acoples) cuando sea preciso.

Es muy importante colocar a la salida del biodigestor la válvula de seguridad, y el reservorio cerca de la cocina. Ambos elementos serán unidos a la conducción de biogás.

### 10.1 Válvula de seguridad

La válvula de seguridad se coloca cerca del biodigestor, para que en la carga diaria se pueda revisar. Esta válvula va a permitir que en caso de que no se consuma biogás, éste tenga un lugar por donde escapar y a la vez evitar que entre aire de fuera que mataría el proceso interno del biodigestor que produce biogás (Ver foto 19).

Foto 18. Se observa la caja de entrada con materia prima.



Fuente: Autoría Propia, Tenería San Francisco, 2017

La válvula de seguridad se coloca al principio de la conducción de biogás, cerca del biodigestor, para poder ver todos los días si necesita más agua.

La válvula de seguridad se realiza con una botella de refresco. Se hace un agujero en su parte superior para poder ir rellenándola de agua cuando ésta se vaya evaporando.

A la salida de la conducción de biogás, tras la primera llave de bola, que había servido para cerrar la salida de biogás, se coloca una tee, de manera que el biogás pueda seguir fluyendo hacia la cocina, pero a la tercera salida de la tee se le une una pieza de tubería y ésta se introduce en la botella de refresco llena de agua. La tubería debe quedar sumergida en el agua de 8 a 13cm, dependiendo de la altura sobre el nivel del mar del lugar, la distancia a la cocina, y el tipo de cocina. Cuanta mayor altura, menor presión se necesita y menos tiene que estar sumergido el tubo en el agua.

Cuanta mayor distancia a la cocina mayor presión se necesita y más sumergido ha de estar el tubo. Si es una cocina tradicional para gas ya manipulada para funcionar con biogás también conviene aumentar la presión. Para determinar la

presión idónea es necesario ir realizando pruebas de la combustión de biogás en la cocina hasta que el usuario éste conforme.

Tras la válvula de seguridad conviene colocar una llave de paso, de forma que se pueda aislar el conjunto formado por el biodigestor y la válvula de seguridad del resto de la conducción para posibles reparaciones o modificaciones.

La válvula de seguridad, es el primer elemento que se ha de encontrar en la salida de biogás la conducción. En caso de que se coloque como primer elemento una llave de bola y después de esta la válvula, se corre el riesgo de que la llave quede cerrada por descuido o mala intención, y entonces el biogás producido en el biodigestor no tendrá forma de salir y terminará reventándolo.

Hay que darse cuenta que la presión máxima del biogás va a estar dada por la profundidad a la que esté sumergida la tubería dentro del agua.

Dentro de la tubería que llega a la botella de refresco llena de agua, se introduce lana de acero. Esta operación tiene dos funciones: por un lado, va a retener parte del ácido sulfhídrico que está en el biogás, quitando olores, y por otro lado, va a impedir que una combustión externa pueda propagarse por la tubería, evitando así peligro de explosiones. Conviene cambiar esta lana de acero o hierro cada seis meses, por eso está colocado en la válvula de seguridad accesible para su recambio.

## CAPÍTULO IV: PRESUPUESTO DEL PROYECTO

### 4.1 ACTIVIDADES DEL PROYECTO

Para la construcción del sistema familiar propuesto será necesaria la realización de las siguientes actividades:

1. Chapeo y limpieza de la zona de construcción.
2. Trazo y nivelación.
3. Excavación de canaleta.
4. Construcción de cajas de entrada y salida.
5. Base de arena.
6. Construcción de sistema biobolsa.
7. Instalación de tubería y accesorios.
8. Construcción de cocina.

### 4.2 MEMORIA DE CÁLCULO.

La memoria de cálculo se realizará para cada actividad relacionada a la construcción del sistema de biogás.

#### 4.2.1 CHAPEO Y LIMPIEZA DE LA ZONA DE CONSTRUCCIÓN.

El largo y ancho de chapeo y limpieza se definirán en base a las dimensiones del biodigestor:

Largo del biodigestor= 6.60 m.

Ancho de biodigestor= 0.80 m.

En base a las dimensiones anteriores se establece un largo de trabajo de 7.60 m y un ancho de 1.80m. Esto equivaldría a un área de  $7.60 \text{ m} \times 1.80 \text{ m} = 13.68 \text{ m}^2$ .

#### 4.2.2 TRAZO Y NIVELACIÓN.

El trazo será de  $= 6.60 \text{ m} \times 0.80 \text{ m} = 5.28 \text{ m}^2$ .

#### 4.2.3 EXCAVACIÓN DE CANALETA.

Largo de sistema biodigestor= 6.60 m.

Ancho de biodigestor= 0.80 m.

Alto de canaleta= 0.75 m.

Volumen de excavación =  $6.60 \text{ m} \times 0.80 \text{ m} \times 0.75 \text{ m} = 3.96 \text{ m}^3$ .

#### 4.2.4 CONSTRUCCIÓN DE CAJAS DE ENTRADA Y SALIDA.

Estas cajas formadas con block de 10 cm de espesor se tomaran como una unidad.

#### 4.2.5 BASE DE ARENA.

Largo neto de biodigestor = 5.00 m.

Ancho de biodigestor = 0.80 m.

Alto de cama de arena = 0.10 m.

Volumen de arena =  $5.00 \text{ m} \times 0.80 \text{ m} \times 0.10 \text{ m} = 0.40 \text{ m}^3$ .

#### 4.2.6 CONSTRUCCIÓN DE SISTEMA BIOBOLSA.

El sistema de biobolsa se tomada como una unidad.

#### 4.2.7 INSTALACIÓN DE TUBERÍA Y ACCESORIOS.

La instalación de tubería y accesorios se tomará como una suma global.

#### 4.2.8 CONSTRUCCIÓN DE COCINA.

El sistema de biobolsa será tomada como una unidad.

#### 4.3 VOLÚMENES DE OBRA

Los volúmenes de obra para el prototipo a construir son:

Actividad	Cantidad	Unidad
1. Chapeo y limpieza de la zona de construcción	13.68	m <sup>2</sup>
2. Trazo y nivelación	5.28	m <sup>2</sup>
3. Excavación de canaleta	3.96	m <sup>3</sup>
4. Construcción de cajas de entrada y salida	2.00	c/u
5. Base de arena	0.40	m <sup>3</sup>
6. Construcción de sistema biobolsa	1.00	c/u
7. Instalación de tubería y accesorios	12.00	ml
8. Construcción de cocina	1.00	c/u

#### 4.3.1 PRESUPUESTO DEL PROYECTO.

El presupuesto del sistema biodigestor prototipo incluyendo mano de obra y herramientas es el siguiente:

Actividad	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Subtotal
1. Chapeo y limpieza de la zona de construcción	13.68	m <sup>2</sup>	\$0.24	\$3.28
2. Trazo y nivelación	5.28	m <sup>2</sup>	\$1.18	\$6.23
3. Excavación de canaleta	3.96	m <sup>3</sup>	\$3.99	\$15.80
4. Construcción de cajas de entrada y salida	2.00	c/u	\$58.53	\$117.06
5. Base de arena	0.40	m <sup>3</sup>	\$23.75	\$9.50
6. Construcción de sistema biobolsa	1.00	c/u	\$106.68	\$106.68
7. Instalación de tubería y accesorios	12.00	ml	\$1.44	\$17.28
8. Construcción de cocina	1.00	c/u	\$90.62	\$90.62
Monto de proyecto				\$336.45

## 5 CONCLUSIONES

1. Los biodigestores son una excelente alternativa de generación de gas con el cuál se elimina el uso de leña en las zonas rurales o por otro lado se descarta el uso de los tambos de gas licuado.
2. Los biodigestores al ser integrados a un sistema de agricultura ecológica incluyen la generación de biocombustible y el reciclado de nutrientes para la obtención de mejorador de suelos de alta calidad.
3. El adecuado funcionamiento del biodigestor depende de factores como son el correcto diseño, el proceso de construcción y su apropiada operación y mantenimiento.
4. La contaminación por excretas producto de los animales siempre ha sido un problema con el cual la humanidad ha tenido que lidiar, por lo cual con el tiempo se han implementado muchos sistemas; uno de estos son los biodigestores los que disminuyen este tipo de contaminación por procesos de digestión con lo cual se obtiene biogás y biol que aparte de dar una solución al problema de contaminación por excretas se generan beneficios ecológicos.
5. La producción del gas depende de la materia prima ya que la materia orgánica es muy basta y ésta se comporta de diferentes maneras, ya que dependiendo de si la materia prima es vegetal, excretas humanas, excretas de bobino o de porcino así es el metano que se produce; otro de los factores es el contenido de agua no potable en la mezcla. En la experiencia de la construcción de la prueba piloto se concluyó que si no se controla una adecuada proporción de excretas de ganado bobino y agua no potable, proporción 1:3, disminuye la producción de metano y por igual la presión en la biobolsa y la calidad del fuego.

6. El sistema de biodigestor produce muchos beneficios, uno de los más importantes es el económico que perciben a mediano plazo algunas familias que implementan este tipo de sistemas y que eliminan el uso del gas licuado. Uno de los problemas que sufren las familias salvadoreñas es que si consumen más gas de lo que cubre el subsidio, éste gas se compra a un precio mayor además los cambios del precio del gas licuado son variables, lo que genera un impacto negativo a la economía familiar.

## 6 RECOMENDACIONES

1. Para evitar el deterioro de la biobolsa, la cual en este diseño es de nylon, se recomienda colocarla sobre una cama de arena fina y por debajo de un techo para así disminuir el impacto del sol sobre ella pudiendo llegar a obtener una vida útil de 8 años como mínimo.
2. Se recomienda que al momento de diseñar un biodigestor familiar se tome en cuenta las dimensiones de las secciones transversales y las longitudes establecidas en el subtema de diseño de sección transversal y longitud de zanja respectivamente.
3. Después de la primera carga de llenado se recomienda esperar el tiempo de retención que constituiría un plazo de 20 días, luego de esto se recomienda que las cargas sean diarias y de no tener disponibilidad de materia prima retrasar la siguiente carga como máximo una semana.
4. Es necesaria la divulgación por parte de la Alcaldía de Chalchuapa y del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales del uso de biodigestores para generar biogás en vista que son una buena alternativa dentro de la generación de energía renovable.
5. Se recomienda a la Facultad Multidisciplinaria de Occidente realizar alianzas estratégicas con instituciones públicas o privadas que tengan proyectos de investigación aplicada que le faciliten a los alumnos el escoger el tema de trabajo de grado.

## 7 REFERENCIAS

- Asamblea General de las Naciones Unidas, 2015, Proyecto de documento final de la cumbre de las Naciones Unidas para la aprobación de la agenda para el desarrollo después de 2015.  
Recuperado de < <http://www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/69/L.85> >  
[consulta: 04 Marzo 2017]
- Biol ecológico como estimulante orgánico en el desarrollo de las plantas. (2012).  
Recuperado de < (<http://documents.mx9/documents/biol-organico.html#>>)>  
[consulta: 09 Marzo 2017]
- Biomasa. CONSEJO NACIONAL DE ENERGÍA.  
<[http://www.cne.gob.sv/index.php?option=com\\_content&view=article&id=116&Itemid=198](http://www.cne.gob.sv/index.php?option=com_content&view=article&id=116&Itemid=198)> [consulta: 09 septiembre 2016]
- CAMINO AL DESARROLLO-FUNDESYRAM.  
<<http://www.fundesyram.info/document/boletines/MAYO2011.pdf>> [consulta: 23 septiembre 2016]
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2016). Cambio Climático. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.  
<http://www.marn.gob.sv/cambio-climatico-3/>
- Molina M. y Troitiño M. (2002), LA INTEGRACIÓN ECONÓMICA Y TERRITORIAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (TESIS DOCTORAL). UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID FACULTAD DE GEOGRAFÍA E HISTORIA, Madrid, España. Recuperado de < <http://biblioteca.ucm.es/tesis/ghi/ucm-t26315.pdf>> [consulta: 09 Marzo 2017]
- Novas y Ruiz. 2012. Una energía verde y Sostenible. Así Suenan el Lempa.  
Recuperado de < <http://agaresobajolempa.blogspot.com/2012/09/una-energia-verde-y-sostenible.html>> [consulta: 09 septiembre 2016]
- PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOL A PARTIR DE EXCRETAS DE GANADO: EXPERIENCIAS EN LA CIUDAD DE TACNA. Jean Lui Salazar Cuaila, Cristian Amusquivar Coaquira, Juan José Llave Pérez, César Rivas Plata Cabanillas. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna, E.A.P. de Física.

- Programa Salvadoreño de Investigación sobre Desarrollo y Medio Ambiente. Pobreza Rural y Medio Ambiente en El Salvador. Lecciones para medios de vida sostenibles. Fundación PRISMA. Autores: Nelson Cuéllar, Ileana Gómez, Susan Kandel y Herman Rosa. Colaboradores: Margarita García y Silvia de Larios. <<http://www.fao.org/docrep/006/ad097s/AD097S05.htm>> [consulta: 23 septiembre 2016]
- Programa Salvadoreño de Investigación sobre Desarrollo y Medio Ambiente. Pobreza Rural y Medio Ambiente en El Salvador. Lecciones para medios de vida sostenibles. Fundación PRISMA. Autores: Nelson Cuéllar, Ileana Gómez, Susan Kandel y Herman Rosa. Colaboradores: Margarita García y Silvia de Larios. <[http://www.prisma.org.sv/uploads/media/PobrezaR\\_es.pdf](http://www.prisma.org.sv/uploads/media/PobrezaR_es.pdf)> [consulta: 23 septiembre 2016]
- PROMUEVEN COCINAS A BASE DE GAS DE ESTIÉRCOL. LA PRENSA GRÁFICA.  
<<http://www.laprensagrafica.com/el-salvador/departamentos/142475-promueven-cocinas-a-base-de-gas-de-estiercol#sthash.jHvwaLfe.dpuf>> 19 de Septiembre de 2010 a la(s) 18:0 / Eduardo Portillo - [consulta: 20 septiembre 2016]
- Raquel Gómez y Eugenio Gras, (2013). De la Permacultura a la Agricultura Orgánica. Mashummus.  
Recuperado de <<http://mashummus.com/index.php/component/content/article/13-interesante2/52-de-la-permacultura-a-la-agricultura>> [consulta: 09 Marzo 2017]

# 8 ANEXOS

## 8.1 PLANO DEL DISEÑO

