

T-UES.  
1506  
D687d  
2000  
Ej. 2

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
INGENIERIA QUIMICA



DIAGNOSTICO, PERSPECTIVAS Y ALTERNATIVAS DE  
REACTIVACION DE LA TECNOLOGIA DEL BIOGAS EN EL  
SALVADOR.

PRESENTADO POR

LISSETTE MARIA DOÑO HENRÍQUEZ  
KAREN GUTIERREZ MORAN  
MARITZA ELIZABETH ROMERO ORTIZ

15100985

15100985

PARA OPTAR AL TITULO DE  
INGENIERA QUIMICO

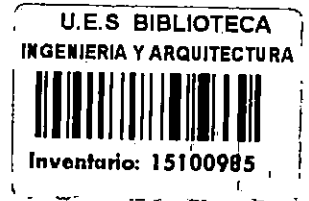


4920

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE DEL 2000

Recibido 27/Nov/2000

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**



**RECTORA**

:

**Dra. María Isabel Rodríguez**

**SECRETARIA GENERAL:**

**Lcda. Lidia Margarita Muñoz Vela**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

**DECANO**

:

**Ing. Alvaro Antonio Aguilar Orantes**

**SECRETARIO**

:

**Ing. Saúl Alfonso Granados**

**ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

**DIRECTORA**

:

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Eugenia Salvadora Gamero Rodríguez".

**Ing. Eugenia Salvadora Gamero Rodríguez**





**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
INGENIERIA QUIMICA**

**Trabajo de Graduación previo a la opción de:**

**INGENIERA QUIMICO**

**Título:**

**DIAGNOSTICO, PERSPECTIVAS Y ALTERNATIVAS DE  
REACTIVACION DE LA TECNOLOGIA DEL BIOGAS EN EL  
SALVADOR.**

**Presentado por:**

**LISSETTE MARIA DOÑO HENRÍQUEZ  
KAREN GUTIERREZ MORAN  
MARITZA ELIZABETH ROMERO ORTIZ**

**Trabajo de Graduación aprobado por:**

**Coordinadora: ING. EUGENIA SALVADORA GAMERO RODRIGUEZ  
Asesora : ING. ANA CECILIA DIAZ DE FLAMENCO**

**SAN SALVADOR, NOVIEMBRE DEL 2000.**

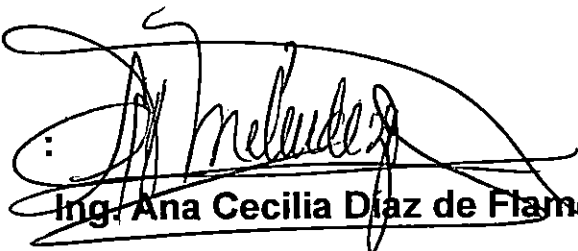
**TRABAJO DE GRADUACION APROBADO POR:**

**COORDINADORA**

:   
**Ing. Salvadora Eugenia Gamero Rodríguez**



**ASESORA**

:   
**Ing. Ana Cecilia Díaz de Flamenco**



## **DEDICATORIA**

**A Dios Todopoderoso y a la Santísima Virgen María por darme fortalezas y guiar mi camino.**

**A mi madre, de manera especial, por su amor, visión y apoyo incondicional para alcanzar las metas de mi vida.**

**A mis queridos abuelitos, que se que desde el cielo me acompañan en este logro.**

**A mis hermanos, familia y amigos.**

**A todos mis profesores que colaboraron con mi formación académica y a todas aquellas personas que me ayudaron,**

**Muchísimas Gracias!**

**Lissette**

**DEDICATORIA**

**A Dios y la Virgen santísima, por iluminarme y acompañarme en toda mi carrera y mi vida.**

**A mi Madre, por la ayuda constante brindada, por la cual le estoy agradecida eternamente, y le dedico este triunfo con mucho amor.**

**A mi Padre, hermano y demás familia (Abuelita Vira, tía Blanca, tía Ana) por su apoyo y confianza otorgados a cada momento de mi carrera.**

**A mi esposo Jaime, por su amor y confianza brindada cuando más lo necesite**

**A Doña Beatriz (Madre de mi esposo) a la cual le agradezco el apoyo brindado cuando más lo necesite en un periodo de mi carrera**

**A Cecy por darme animo y confianza**

**A mi hijo Diego Alejandro, parte importante de mi vida, al cual le dedico este logro ya que formo parte de la inspiración para seguir adelante y culminar mi carrera.**

**A todos los profesores que de alguna manera brindaron su ayuda en mi formación.**

**A mis amigos y compañeros de trabajo, gracias por su amistad y apoyo.**

**Karen**



**Dedicatoria.**

**Agradezco a Dios y a María Auxiliadora por acompañarme en todo momento en mi vida.**

**A todos los profesores que contribuyeron en mi formación.**

**A mi familia por su apoyo, especialmente a mi padre por su confianza y amor y a mi hermana por su cariño.**

**A mis compañeros y amigos con los que compartí sueños y metas.**

**Y a todas las personas que contribuyeron a alcanzar este logro en mi vida.**

**Maritza Elizabeth Romero Ortíz**

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación es determinar las causas económicas, políticas, socio-culturales, tecnológicas y ecológicas, que limitaron en el pasado y están limitando en la actualidad el desarrollo de la tecnología del biogas en las familias rurales de El Salvador y presentar alternativas para contribuir de alguna manera a su reactivación.

El diseño de la investigación realizada es del tipo no experimental, se analiza el nivel, estado ó relación del conjunto de variables mencionadas anteriormente y los fenómenos se observaron sin modificar el contexto natural.

Las partes en que se dividió el trabajo realizado fueron:

### **1. Inventario de los biodigestores domésticos rurales.**

En esta investigación se tomaron en cuenta los siguientes criterios de clasificación: biodigestores domésticos rurales en desuso, funcionamiento y construcción.

### **2. Diagnóstico de la situación actual de los biodigestores domesticas rurales.**

Con el fin de identificar las causas que llevaron al abandono de algunos biodigestores domésticos rurales que funcionaron en el pasado, y las causas que limitan en la actualidad el seguimiento de los proyectos ya en funcionamiento ó en proceso de construcción.

Los instrumentos evaluados utilizados en el diagnóstico fueron, encuestas y guías de observación, aplicadas a un grupo de familias rurales usuarias de la tecnología del biogas.

### **3. Análisis del diagnóstico de la situación actual de la tecnología del uso del biogas por familias rurales.**

Se analizaron los instrumentos evaluadores que fueron aplicados al grupo de familias rurales seleccionadas, utilizando análisis estadísticos de tipo descriptivo el cual permitió identificar las posibles causas que han limitado la adopción de esta tecnología en el sector estudiado. Se resume en el siguiente cuadro las variables de mayor relevancia:

<b>Cuadro comparativo de las variables que limitaron la adopción de la tecnología del biogas en las familias rurales estudiadas en orden de mayor a menor relevancia</b>		
<b>Biodigestores domésticos rurales en desuso</b>	<b>Biodigestores domésticos rurales en funcionamiento</b>	<b>Biodigestores domésticos rurales en construcción</b>
1. Falta de apoyo institucional	1. Falta de conocimientos adecuados sobre el manejo higiénico de los biodigestores	1. Falta de conocimientos adecuados sobre el manejo higiénico de los biodigestores
2. Falta de financiamiento	2. Limitaciones del diseño del biodigestor	2. Escaso nivel económico y escaso nivel de funcionamiento
3. Escaso nivel económico de las familias	3. Escasa formación educativa que probablemente afecte la asimilación del proceso técnico en el manejo del biodigestor.	3. Falta de apoyo institucional
4. Escaso nivel de organización entre las familias	4. Falta de apoyo institucional	4. Bajo nivel de organización
5. Falta de conocimientos adecuados sobre el manejo higiénico de los biodigestores	5. Escaso nivel económico	
6. Escasa capacitación técnica		

#### **4. Planteamiento de las perspectivas y alternativas**

En base al análisis del diagnóstico se determinó que en el proceso de adopción de la tecnología del biogas por las familias rurales los factores limitantes son similares y orientan los elementos que hay que mejorar en los proyectos de biogas domésticos rurales que actualmente están funcionando y/o en proceso de construcción.

Es por ello que es necesario la realización de pruebas piloto con digestores domésticos con grupos de familias rurales que reúnan como mínimo algunas características: entre ellas motivación personal por el aprendizaje y la implementación de la tecnología, nivel adecuado de organización los que les permitirá una capacidad de gestión frente a organismos ejecutores de este tipo de proyectos y solventar problemas técnicos y entre otras se recomienda realizar próximos ensayos tomando en cuenta las familias que ya han utilizado la tecnología. Uno de los factores mas importantes que hay que tomar en cuenta para las futuras pruebas con familias rurales es satisfacer sus expectativas con respecto a la cantidad de biogas producido por el biodigestor, ya que en la actualidad todos los

biodigestores solo producen una carga que permite solo cuarenta y cinco minutos por día para cocción de alimentos (lo que representa un tiempo de comida al día). A pesar de esta limitante la mayoría de los usuarios mostró elevado interés para darle seguimiento a la tecnología, modificando el diseño del biodigestor en cuanto a la capacidad de producción.

A corto plazo (3 años) no es posible pensar que el biogas puede sustituir al 100% el uso de la leña en la cocción de alimentos, sino que será un proceso gradual en la medida que el diseño del digestor satisfaga las necesidades de energía para cocción de alimentos y se demuestre técnicamente a través del tiempo, pero se vislumbran buenas posibilidades de lograrlo a mediano plazo (5 – 10 años) y largo (más de 10 años), siempre que se le seguimiento a esta investigación, tomando en cuenta los resultados aquí generados.

Esta tarea requiere de que los sectores que actualmente están apoyando esta tecnología continúen sus esfuerzos; tomando en cuenta los resultados derivados de la presente investigación.

Este documento presenta las causas que limitan y limitaron el desarrollo de la tecnología del biogas en el área rural de El Salvador, por lo cual fué necesario la realización de un diagnostico que permitió identificar dichas causas, así también se presentan las propuestas de reactivación de la tecnología.

## INDICE

CONTENIDO	PAG
<b>CAPITULO I.</b>	
1.0 INTRODUCCION. . . . .	1
2.0 ANTECEDENTES. . . . .	3
3.0 PROCESO DE DIGESTION ANAEROBIA PARA LA PRODUCCION BIOGAS.. . . .	6
3.1 FASES DE LA FERMENTACION EN EL PROCESO DE PRODUCCION DE BIOGAS. . . . .	6
3.1.1 RELACION ENTRE LAS FASES DE PRODUCCION DE BIOGAS. . . . .	8
3.2 MICROORGANISMOS PRODUCTORES DE BIOGAS.. . . .	9
3.2.1 MICROORGANISMOS NO METANOGENICOS.. . . .	10
3.2.2 BACTERIAS METANOGENICAS. . . . .	12
3.3 CARACTERISTICAS DE LA FERMENTACION PARA LA PRODUCCION DE BIOGAS. . . . .	12
3.4 MATERIAS PRIMAS PARA LA PRODUCCION DE BIOGAS. Y BIOABONO. . . . .	15
3.4.1 DESECHOS VEGETALES. . . . .	15
3.4.2 MATERIALES DE ORIGEN ANIMAL. . . . .	16
3.5 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA OPERACIÓN DE LOS BIODIGESTORES. . . . .	18
3.5.1 FACTORES AMBIENTALES. . . . .	18
3.5.2 FACTORES OPERACIONALES. . . . .	21
4.0 BIOGAS COMPOSICION Y CARACTERISTICAS.. . . .	23
4.1 APLICACIONES DEL BIOGAS. . . . .	24
4.1.1 USOS DEL BIOGAS EN LA COCINA. . . . .	26
4.1.2 USOS DEL BIOGAS EN ILUMINACION. . . . .	31
4.1.3 USO DEL BIOGAS EN MOTORES ESTACIONARIOS DE COMBUSTION INTERNA. . . . .	34

4.1.4	OTRAS APLICACIONES DEL BIOGAS.	36
4.1.5	USO DEL BIOGAS PARA SATISFACER NECESIDADES DE LA FAMILIA RURAL.	39
4.2	PRECAUCIONES QUE DEBEN ADOPTARSE AL USO DEL BIOGAS.	40
5.0	BIOABONO.	41
5.1	COMPOSICION DEL BIABONO.	42
5.2	EFFECTO DEL BIOABONO SOBRE LOS SUELOS.	42
5.3	EXPERIENCIAS OBTENIDAS CON DIVERSOS CULTIVO	44
5.4	COMPARACION DE BIOABONO Y DE FERTILIZANTESQUIMICOS.	45
6.0	DIGESTORES ANAEROBIOS.	47
6.1	DESCRIPCION GENERAL DE UNA PLANTA DE BIOGAS.	47
6.2	CARACTERISTICAS.	48
6.3	LOCALIZACION.	49
6.4	ALIMENTACION.	49
6.5	PROBLEMAS COMUNES DE OPERACIÓN EN LOS BIODIGESTORES.	50
6.6	PRECAUCIONES QUE DEBEN ADOPTARSE AL USO DEL BIOGAS.	51
6.7	LOS PRIMEROS DIGESTORES.	52
6.8	MODELOS DE DIGESTORES CONSTRUIDOS EN EL SALVADOR PARA USO DOMESTICO EN EL AREA RURAL.	52
6.8.1	MODELOS HINDU MODIFICADO Y CONVENCIONAL.	53
6.8.2	MODELO FRY.	55
6.8.3	MODELO PLASTICO.	56

6.8.4	MODELO DEMEDIA BOLSA PLASTICA CON SELLO DE AGUA. . . . .	57
6.8.5	MODELO ICAITI. . . . .	59
6.8.6	MODELO BETHANIA. . . . .	59
6.8.7	MODELO CHINO. . . . .	62
7.0	SITUACION ACTUAL DE LA TECNOLOGIA DE PRODUCCION DEL BIOGAS EN EL SALVADOR Y EL MUNDO. . . . .	63
7.1	CONTEXTO MUNDIAL DE LA TECNOLOGÍA DEL BIOGAS. . . . .	63
7.1.1	DIGESTORES PARA FAMILIAS RURALES. . . . .	63
7.1.2	AGROINDUSTRIA. . . . .	64
7.1.3	TRATAMIENTO DE DESECHOS MUNICIPALES. . . . .	65
7.2	SITUACION ACTUAL DE LOS BIODIGESTORES EN EL SALVADOR. . . . .	67
7.3	UBICACIÓN GEOGRAFICA Y ESTADO DE LOS DIGESTORES ANAEROBICOS EN EL SALVADOR . . . . .	69
7.3.1	DIGESTORES OPERANDO NORMALMENTE. . . . .	70
7.3.2	DIGESTORES EN INICIO DE OPERACIÓN Y EN CONSTRUCCION. . . . .	73
7.3.3	DIGESTORES EN ESTADO DE ABANDONO. . . . .	73
<b>CAPITULO II. DISEÑO DE LA INVESTIGACION. . . . .</b>		<b>78</b>
1.0	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA . . . . .	78
2.0	TIPO DE DISEÑO DE LA INVESTIGACION . . . . .	80
3.0	FORMULACION DE LA HIPOTESIS . . . . .	81
3.1	DEFINICION CONCEPTUAL Y OPERACIONAL DE VARIABLES.. . . . .	83
4.0	DISEÑO METODOLOGICO. . . . .	88
4.1	TIPO DE ESTUDIO . . . . .	88
4.2	DETERMINACION DEL UNIVERSO Y LA MUESTRA . . . . .	89
4.2.1	DETERMINACION DE LA POBLACION . . . . .	89
4.2.2	SELECCIÓN DEL TIPO DE MUESTRA . . . . .	90

4.3	DISEÑO DEL INSTRUMENTO EVALUADOR . . . . .	91
4.4	PLAN DE TABULACION . . . . .	92
4.5	ANALISIS ESTADISTICOS . . . . .	96
4.5.1	ANALISIS BIODIGESTORES DOMESTICOS RURALES EN DESUSO . . . . .	96
4.5.2	ANALISIS BIODIGESTORES DOMESTICOS RURALES EN FUNCIONAMIENTO . . . . .	102
4.5.3	ANALISIS BIODIGESTORES DOMESTICOS RURALES EN CONSTRUCCION.. . . .	113
<b>CAPITULO III DIAGNOSTICO Y PERSPECTIVAS DE LA TECNOLOGÍA DEL BIOGAS. . . . .</b>		<b>121</b>
<b>CAPITULO IV PROPUESTAS Y PERSPECTIVAS DE LA TECNOLOGÍA DEL BIOGAS EN EL SALVADOR. . . . .</b>		<b>156</b>
1.0	PROPUESTAS DE REACTIVACION DE LA TECNOLOGÍA DEL BIOGAS EN EL SALVADOR. . . . .	156
2.0	PERSPECTIVAS DE LA TECNOLOGÍA DEL BIOGAS EN EL SALVADOR. . . . .	164
<b>CONCLUSIONES. . . . .</b>		<b>170</b>
<b>RECOMENDACIONES. . . . .</b>		<b>174</b>
<b>REFERENCIAS. . . . .</b>		<b>176</b>



## INDICE DE TABLAS

No TABLA	TITULO DE TABLA	PAG.
Tabla 1.1	Clasificación de las metanobacterias.	13
Tabla 1.2	Producción estimada de estiércol animal.	16
Tabla 1.3	Produccion de biogas a partir de distintos sustratos . . .	17
Tabla 1.4	Relación carbono-nitrógeno para algunos materiales) .	20
Tabla 1.5	Sólidos totales en sustratos diferentes(icaiti, 1983). .	21
Tabla 1.6	Consumo de biogas en la cocción de diferentes Alimentos. . . . .	30
Tabla 1.7	Cantidades de estiércol y producción de biogas Estimadas por tamaño de biodigestor. . . . .	30
Tabla 1.8	Consumo de biogas en la utilización de diversos equipos. . . . .	31
Tabla 1.9	Consumo de energía eléctrica de una familia. .	39
Tabla 1.10	Energía producida por diversas materias primas. .	40
Tabla 1.11	Composición del bioabono a partir de estiércol bovino.	43
Tabla 1.12	Comparación de producción de semillas utilizando el efluente como fertilizante y un fertilizante químico. .	44
Tabla 1.13	Peso promedio de materia vegetativa fresca por tipo de suelo. . . . .	45
Tabla 1.14	Comparación entre fertilizante químico y efluente. .	45
Tabla 1.15	Problemas comunes de operación en los digestores .	50
Tabla 1.16	Desarrollo de biodigestores rurales en el mundo. .	64
Tabla 1.17	Aprovechamiento del biogas proveniente de rellenos sanitarios. . . . .	67
Tabla 1.18	Estado actual de la tecnología de producción de biogas en El Salvador. . . . .	68
Tabla 1.19	Ubicación de los digestores anaeróbicos en El Salvador(a) . . . . .	70

Tabla 1.20	Ubicación de los digestores anaeróbicos en El Salvador(b).	71
Tabla 2.1	Definiciones conceptuales y operacionales que involucra la hipótesis.	85
Tabla 2.2	Distribución de puntos para los ítems de los instrumentos de evaluación de biodigestores en desuso y biodigestores funcionando.	95
Tabla 2.3	Distribución de puntos de biodigestores en construcción.	95
Tabla 2.4	Datos generales para biodigestores en desuso..	96
Tabla 2.5	Resultados obtenidos para la variable apoyo institucional.	97
Tabla 2.6	Resultados obtenidos para la variable financiamiento para asesoría post-implantación.	97
Tabla 2.7	Resultados obtenidos para la variable nivel económico de las familias.	98
Tabla 2.8.	Resultados obtenidos para la variable educación.	98
Tabla 2.9.	Resultados obtenidos para la variable conciencia social.	99
Tabla 2.10.	Resultados obtenidos para la variable nivel de organización de la comunidad.	99
Tabla 2.11	Resultados obtenidos para la variable diseño del biodigestor.	100
Tabla 2.12.	Resultados obtenidos para la variable materia prima.	100
Tabla 2.13.	Resultados obtenidos para la variable uso o aplicación.	101
Tabla 2.14.	Resultados obtenidos para la variable capacitación técnica.	101
Tabla 2.15.	Resultados obtenidos para la variable condiciones salubres e higiénicas.	102

Tabla 2.16.	Resultados obtenidos para la variable conservación del medio ambiente.	102
Tabla 2.17	Promedios obtenidos para las variables analizadas para biodigestores en desuso.	103
Tabla 2.18.	Datos generales para biodigestores en funcionamiento.	104
Tabla 2.19.	Resultados obtenidos para la variable apoyo institucional.	104
Tabla 2.20.	Resultados obtenidos para la variable apoyo institucional.	105
Tabla 2.21(a)	Resultados obtenidos para la variable nivel económico de las familias.	105
Tabla 2.21(b)	Resultados obtenidos para la variable nivel económico de las familias.	106
Tabla 2.22.	Resultados obtenidos para la variable educación.	106
Tabla 2.23.	Resultados obtenidos para la variable conciencia social y ambiental.	107
Tabla 2.24.	Resultados obtenidos para la variable nivel de organización en la comunidad.	107
Tabla 2.25.	Resultados obtenidos para la variable diseño del biodigestor.	108
Tabla 2.26.	Resultados obtenidos para la variable materia prima	108
Tabla 2.27.	Resultados obtenidos para la variable uso o aplicación.	109
Tabla 2.28.	Resultados obtenidos para la variable capacitación técnica.	110
Tabla 2.29.	Resultados obtenidos para la variable condiciones salubres e Higiénicas.	110
Tabla 2.30.	Resultados obtenidos para la variable conservación del medio ambiente.	111

Tabla 2.31.	Resultados obtenidos para la variables analizadas para el caso de biodigestores funcionando.	112
Tabla 2.32	Datos generales para biodigestores en construcción.	113
Tabla 2.33	Resultados obtenidos para la variable apoyo financiero.	114
Tabla 2.34.	Resultados obtenidos para la variable asesorías técnicas post-implantación..	114
Tabla 2.35(a)	Resultados obtenidos para la variable nivel económico de las familias.	115
Tabla 2.35(b)	Resultados obtenidos para la variable nivel económico de las familias.	115
Tabla 2.36.	Resultados obtenidos para la variable educación.	116
Tabla 2.37	Resultados obtenidos para la variable conciencia social y ambiental.	116
Tabla 2.38	Resultados obtenidos para la variable nivel de organización de la comunidad.	117
Tabla 2.39	Resultados obtenidos para la variable Diseño del biodigestor.	117
Tabla 2.40	Resultados obtenidos para la variable materia prima.	118
Tabla 2.41	Resultados obtenidos para la variable uso o aplicación.	118
Tabla 2.42	Resultados obtenidos para la variable capacitación técnica.	119
Tabla 2.43	Resultados obtenidos para la variable condiciones salubres e higiénicas.	119
Tabla 2.44	Promedios obtenidos para las variables analizadas para el caso de biodigestores en construcción.	120
Tabla 3.1	Resultados obtenidos para la variable apoyo institucional.	123

Tabla 3.2	Resultados obtenidos para la variable financiamiento para asesorías técnicas. . . . .	126
Tabla 3.3	Resultados obtenidos para la variable nivel económico de las familias. . . . .	129
Tabla 3.4	Resultados obtenidos para la variable educación. . . . .	131
Tabla 3.5	Resultados obtenidos para la variable conciencia social y ambiental. . . . .	133
Tabla 3.6	Resultados obtenidos para la variable nivel de organización de la comunidad. . . . .	135
Tabla 3.7	Resultados obtenidos para la variable diseño del biodigestor.. . . .	139
Tabla 3.8	Resultados obtenidos para la variable materia prima. . . . .	141
Tabla 3.9	Resultados obtenidos para la variable uso y Aplicación. . . . .	144
Tabla 3.10	Resultados obtenidos para la variable capacitación técnica.. . . .	146
Tabla 3.11	Resultados obtenidos para la variable condiciones salubres e higiénicas. . . . .	149
Tabla 3.12	Resultados obtenidos para la variable conservación del medio ambiente.. . . .	151
Tabla 3.13	Variables que limitan el desarrollo de la tecnología del biogas en El Salvador. . . . .	152
Tabla 4.1	Mercado potencial de aplicación de la tecnología del biogas en El Salvador . . . . .	169

## INDICE DE FIGURAS

No DE FIGURA	TITULO DE FIGURA	PAG.
Figura 1.1	Etapas de producción de biogas.	7
Figura 1.2	Utilización del biogas como recurso energético.	25
Figura 1.3	Producción de biogas y bioabono en el sector Rural doméstico	25
Figura 1.4	Estufas especiales para biogas.	27
Figura 1.5	Quemadores de biogas.	28
Figura 1.6	Lámpara especial para biogas	32
Figura 1.7	Lámparas de camisa	33
Figura 1.8	Motor de gasolina y biogas.	37
Figura 1.9	Motor de diesel y biogas	38
Figura 1.10	Biodigestor modelo Hindú Modificado.	53
Figura 1.11	Biodigestor modelo Hindú Convencional.	54
Figura 1.12	Biodigestor modelo FRY.	55
Figura 1.13	Biodigestor modelo plástico.	57
Figura 1.14	Biodigestor modelo de media bolsa plástica con sello de agua.	58
Figura 1.15	Biodigestor modelo ICAITI.	60
Figura 1.16	Biodigestor modelo Bethania.	61
Figura 1.17	Biodigestor modelo Chino	62
Figura 1.18	Comparación entre el balance de energía y demanda química de oxígeno de procesos aerobio y anaerobio para el tratamiento de aguas negras	66
Figura 1.19	Ubicación geográfica de los digestores anaerobios en El Salvador.	72
Figura 2.1	Esquema de la hipótesis de investigación.	84
Figura 2.2	Comparación de variables para los biodigestores en desuso.	103

Figura 2.3	Comparación de variables para los biodigestores en funcionamiento. . . . .	112
Figura 2.4	Comparación de variables para lo biodigestores en construcción. . . . .	120
Figura 3.1	Comparación de resultados variable Apoyo Institucional para los tres casos de biodigestores domésticos rurales. . . . .	124
Figura 3.2	Comparación de resultados variable Financiamiento para Asesorías técnicas para los tres casos de biodigestores domésticos rurales. . . . .	126
Figura 3.3	Comparación de resultados variable Nivel Económico de las familias para los tres casos de biodigestores domésticos rurales. . . . .	129
Figura 3.4	Comparación de resultados variable Educación para los tres casos de biodigestores. domésticos rurales . . . . .	131
Figura 3.5	Comparación de resultados variable Conciencia Social y ambiental para los tres casos de biodigestores domésticos rurales . . . . .	134
Figura 3.6	Comparación de resultados variable Nivel de Organización de la comunidad para los tres casos de biodigestores domésticos rurales. . . . .	136
Figura 3.7	Comparación de resultados variable Diseño del biodigeter para los tres casos de biodigestores domésticos rurales. . . . .	139
Figura 3.8	Comparación de resultados variable Materia Prima para los tres casos de biodigestores domésticos rurales . . . . .	142
Figura 3.9	Comparación de resultados variable Uso y aplicación para los tres casos de biodigestores domésticos rurales . . . . .	144

Figura 3.10	Comparación de resultados variable capacitación técnica para los tres casos de biodigestores domésticos rurales.	147
Figura 3.11	Comparación de resultados variable condiciones salubres e higiénicas para los tres casos de biodigestores domésticos rurales .	149
Figura 3.12	Comparación de resultados variable Conservación del medio ambiente entre biodigestores domésticos rurales en desuso y funcionamiento.	151



## INDICE DE ANEXOS

ANEXO	PAG.
ANEXO A. . . . .	180
ANEXO B . . . . .	188
ANEXO C . . . . .	195
ANEXO D . . . . .	202
ANEXO E . . . . .	208
ANEXO F . . . . .	211
ANEXO G . . . . .	215
ANEXO H . . . . .	217
ANEXO I . . . . .	222
ANEXO J . . . . .	225
ANEXO K . . . . .	229
ANEXO L . . . . .	232

## 1.0 INTRODUCCION

En la actualidad la problemática mundial que se enfrenta en cuanto a los elevados precios del petróleo y sus derivados afecta directamente la economía de El Salvador y de muchos otros países, lo cual nos conduce a evaluar alternativas de sustitución de los productos energéticos provenientes del petróleo. Así mismo desplazar el uso de fertilizantes químicos gradualmente por el uso de fertilizantes orgánicos, valorizándose más la conservación del medio ambiente.

La economía de El Salvador se enfrenta a los precios crecientes de la energía eléctrica y en este contexto económico se presentan oportunidades de aprovechamiento de fuentes renovables de energía, que contribuyan a disminuir el impacto de factores económicos externos a la frágil economía, ecología y sociedad, haciendo menos vulnerable la estabilidad del país.

Los beneficios de las fuentes renovables de energía (FRE), como en el caso de la producción de biogas y bioabono, se manifiestan en los campos de lo social, económico, energético y ambiental.

La tecnología del biogas consiste en un proceso de digestión anaerobia para la producción de biogas y bioabono siendo una alternativa enmarcada dentro de la sostenibilidad y aprovechamiento de recursos naturales, la cual se basa en la utilización integral y eficiente de los desechos orgánicos con el fin de recuperar energía en forma de gas combustible y como abono orgánico, las aplicaciones de los productos que se obtienen (biogas y bioabono) se realizan en tareas domésticas y agrícolas del sector rural, así como a nivel industrial y agroindustrial, dentro de las que se puede mencionar iluminación, cocción de alimentos, generación de energía eléctrica como combustible en motores de combustión interna, producción de fertilizantes (bioabono), degradación de desechos orgánicos municipales y agroindustriales, etc.

A mayor escala es utilizada en países como Brasil, China, India, etc. para la solución de algunos problemas ambientales, de salud, etc.

Estas aplicaciones contribuyen en alguna medida a disminuir problemas de deforestación, contaminación y electrificación rural.

En El Salvador esta tecnología tuvo sus orígenes en la década de los 60's con diferentes proyectos financiados por organismos e instituciones nacionales e internacionales para ser desarrollados en la zona rural, diseñando digestores cuyo objetivo era aprovechar los desechos agrícolas generados por animales en aplicaciones domésticas. De igual manera surgieron proyectos desarrollados por personas naturales con conocimiento sobre la producción de biogas y bioabono.

Luego de varios años de inactividad en esta área surgen nuevos proyectos de biogas en 1998 en la zona de Suchitoto comunidad de "Las Delicias", financiados por Fondo de Iniciativa para las Américas en El Salvador (FIAES), los cuales se encuentran funcionando en la actualidad. Así como también en la comunidad de "San Bartolo y "San Jacinto" departamento de San Miguel y Morazán respectivamente en 1999, los cuales aún se encuentran en etapa de construcción y han sido financiados por el Fondo Nacional de El Salvador (FONAES).

Ambos proyectos son desarrollados en la zona rural como una alternativa para la satisfacción de las necesidades energéticas en la cocción de alimentos de la familia rural, en sustitución de la leña, formando parte de programas integrales de beneficio ecológico.

De ahí que el presente trabajo de investigación se centra en identificar por medio de encuestas aquellas causas económicas, políticas, tecnológicas, sociales y ambientales que limitaron en el pasado y limitan actualmente el desarrollo exitoso de la tecnología del biogas aplicada a tareas domésticas en el universo de estudio delimitado: Las familias usuarias de la zona rural de El Salvador. A partir de dichos descubrimientos proponer perspectivas de reactivación de la tecnología del biogas para así obtener los beneficios ecológicos, económicos, sociales y ambientales que provee una Fuente Renovable de Energía.

mismo año Warriner construyó otro en las Chinamas (Ahuachapán) para uso de una cooperativa la cual no llegó a concretarse debido a problema del conflicto armado (3,4).

Lardé en 1981 realizó experimentos más controlados sobre la producción de biogas con pulpa de café; estudió el efecto del excremento bovino sobre la cantidad y composición del gas obtenido al digerir anaeróticamente la pulpa del café semi descompuesta, concluyendo en dicho estudio que se obtiene una fermentación más estable con el tratamiento sin estiércol. El mismo autor en 1982 estudió el efecto del grado de composición aerobia de la pulpa de café previa a la digestión anaerobia, observando que a medida que aumentaba el período de descomposición aerobia previa se reducía el potencial de la pulpa para generar biogas (5).

Flores en 1981 construyó un equipo sencillo y económico para producir biogas en los hogares rurales como complemento de la leña. Con este equipo logró producir 0.14 metros cúbicos diarios de gas, utilizando estiércol bovino como materia prima (6).

Posteriormente en 1982 se realizó un estudio experimental a escala de laboratorio con residuos de zacate limón (*Ymbopogon sp.*) y hoja de lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) como sustractos para producir biogas con digestores discontinuos manteniéndolos a temperatura ambiente. El mismo año por medio de la cooperación técnico-agrícola que mantenía la República de China con el Gobierno de El Salvador, se instaló en la Escuela Nacional de Agricultura (ENA) un digestor plástico de 50 metros cúbicos para producir biogas a partir de estiércol porcino, con propósitos de demostración de la tecnología (7).

A finales de 1982 el Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI) por medio del proyecto "Leña y Fuentes alternas de Energía), construyó en la Hacienda del sector Reformado de Santa Lucía en Orcoyo departamento de La Libertad, un digestor hecho de ladrillos y concreto de 15 metros cúbicos de capacidad total (7).

Luego en 1983 ese mismo Instituto por medio de convenios entre La comisión ejecutiva del Río Lempa (CEL) y la Dirección de Desarrollo Comunal (DIDECO) propició la construcción de otros dos digestores uno en una finca particular y otro en

la Escuela Nacional de Agricultura (ENA) (7). Cabe mencionar que en el convenio ENA-CENTA-CEL del período 84-88, CEL apoyó y financió la construcción de tres digestores (ICAITI, Hindú, Chino).

A mediados de 1984 en una granja de Metapán, se construyó un digestor modelo Hindú, con una capacidad de 12 metros cúbicos. A finales del mismo año se construyó otro digestor como parte de un trabajo de graduación en la Universidad José Simeón Cañas en el campamento Bethania para desplazados de las zonas conflictivas del país, con una capacidad de 10 metros cúbicos y con la finalidad de producir biogas para la cocción del alimentos (6).

En 1985 Flores realizó una investigación sobre el desarrollo de la tecnología del biogas desde 1960 hasta 1984, detectando así problemas sociales, culturales, técnicos, económicos e institucionales que habían limitado su difusión; determinando que estos últimos son los que más contribuyeron al poco éxito de la tecnología. Como parte de este estudio se localizaron diez biodigestores construidos en El Salvador, la mayoría mencionados anteriormente (7).

No ha sido hasta 1998 que la tecnología del biogas ha vuelto a renacer en El Salvador con ayuda de Instituciones como El Fondo de Iniciativa para las Américas (FIAES) y El Fondo Nacional de El Salvador (FONAES), las cuales están financiando proyectos en el área rural de Suchitoto y San Miguel respectivamente, para la construcción de biodigestores para utilización del gas en cocinas, reduciendo de esta manera el consumo de leña y generando una mayor conciencia ambiental.

En el contexto internacional podemos mencionar a países como Brasil y China que se encuentran muy avanzados en la aplicación y usos de la tecnología del biogas. En Brasil, es muy común la utilización de biodigestores en la zona rural, ya sea a nivel de cooperativa o a nivel familiar, también es utilizada esta tecnología en la agroindustria (azúcarera, cafetalera, etc.) así como también en la industria.

### **3.0 PROCESO DE DIGESTION ANAEROBIA PARA LA PRODUCCION DE BIOGAS**

#### **3.1 FASES DE LA FERMENTACION EN EL PROCESO DE PRODUCCION DE BIOGAS**

Sobre la base de la acción de los microorganismos en la fermentación metanógena McKinney (1962) propuso un proceso en dos fases: una acidogénica y otra de producción de gas, que fueron modificadas posteriormente por Lawrence y McCarty que dividieron el proceso de fermentación de biogas en tres fases: hidrólisis, producción de ácido y producción de gas, las cuales se presentan en la figura 1.1 (8).

#### **PRIMERA FASE**

Las bacterias de fermentación secretan exoenzimas que hidrolizan las materias orgánicas. Estas bacterias se presentan en variedad y cantidad diferente según las materias orgánicas utilizadas. Sobre la base del sustrato sobre el cual actúan, pueden clasificarse en bacterias degradadoras de la celulosa, grasas y proteínas.

Los polisacáridos se hidrolizan y se convierten en monosacáridos, las proteínas en péptidos o aminoácidos, las grasas en glicerol y ácidos grasos (8).

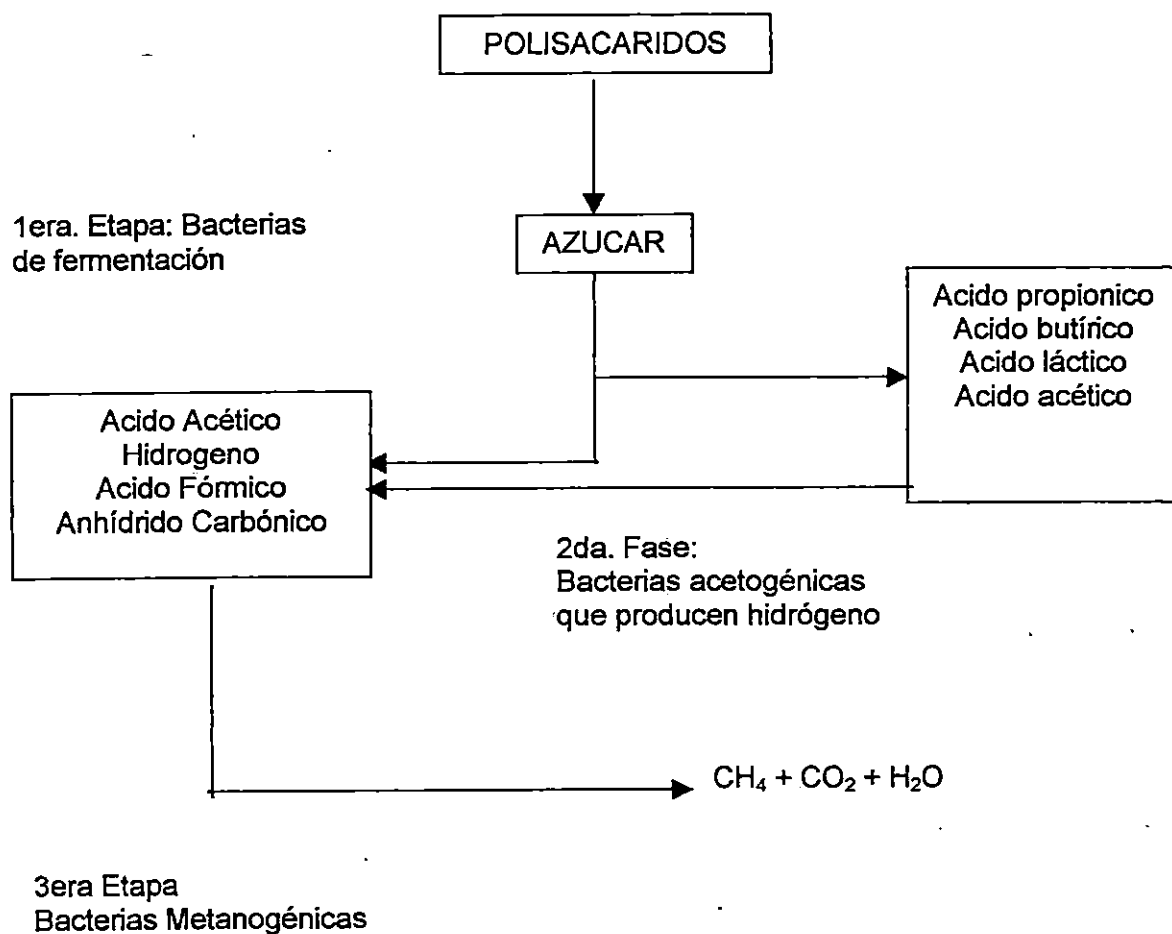


Figura 1.1 Etapas de producción de biogas

## SEGUNDA FASE

Las bacterias que producen hidrógeno y ácido acético como el *Acetobacterium xylinum*, algunos *clostridium* y otros, pueden degradar ácidos grasos superiores para producir hidrógeno y ácido acético. Además, los ácidos grasos de cadena larga y los aminoácidos aromáticos producidos en la primera fase pueden también degradarse lo que producirá Hidrógeno y ácido acético (8).

## TERCERA FASE

Las bacterias metanogénicas utilizan los compuestos simples, es decir ácido acético, el hidrógeno, el ácido fórmico y el  $\text{CO}_2$ , para formar metano y anhídrido carbónico.

Para que un proceso de fermentación metanogénica se realice en forma normal y vital es preciso contar con la acción conjunta y combinada de bacterias que producen metano y las que no lo producen. El exceso o falta de cualquier grupo de bacterias y su función más o menos activa o inactiva tiende a destruir el equilibrio cinético lo que lleva a la normalidad o incluso al fracaso del proceso de fermentación (8).

### 3.1.1 RELACIÓN ENTRE LAS FASES DE PRODUCCIÓN DE BIOGAS.

En el proceso práctico de fermentación para producir biogas, las tres fases se suceden muy próximas unas a otras y se restringen entre sí. Se mantiene entre ellas un equilibrio que resulta en la degradación continua de los sustratos y la formación de metano. Si se varían las condiciones ambientales se afecta ese equilibrio. En un digestor de biogas equilibrado, ese equilibrio se rompe con frecuencia por efecto de los siguientes factores:

- i) La sobrecarga que ocurre en un digestor cuando se agrega un exceso de materiales de una sola vez o aumenta súbitamente la concentración del fluido en el digestor.
- ii) El fluido del digestor se vuelve ya sea demasiado ácido o demasiado alcalino o que contamina con sustancias tóxicas (8).

Una vez ocurra el desequilibrio suelen aparecer los siguientes síntomas:

1. Disminuye súbitamente el volumen de metano producido, que puede llegar a cero.
2. Cambia la composición del biogas, es decir disminuye su contenido de metano y aumenta  $\text{CO}_2$ .
3. Varía el pH en el fluido de fermentación, llegando a menos de 6.5 o más de 8.



4. Aumenta la concentración de ácidos volátiles o de nitrógeno gaseoso.

Aunque la producción de biogas es muy sensible a los cambios ambientales tiene cierta capacidad para adaptarse a ellos. Si los cambios se producen dentro de ciertos límites, el desequilibrio puede regularse automáticamente y se restaura el equilibrio sin necesidad de reajuste artificial.

### **3.2 MICROORGANISMOS PRODUCTORES DE BIOGAS**

La fermentación metanogénica es un proceso en que materias orgánicas como paja, diversos pastos, residuos humanos y animales, basuras, lodos, etc. son degradados en condiciones anaerobias por una variedad de distintos microorganismos para generar como producto último metano. Los microorganismos de fermentación que producen el biogas engloban tanto bacterias que descomponen los materiales orgánicos sin producir metano como aquellas que sí los producen; por diversos procesos y gracias a la cooperación en interacción entre ellos, estos microbios convierten distintos materiales y degradan complejas materias orgánicas para formar el metano. Por tanto, conocer la biología de la fermentación es base teórica importante para llevar adelante la producción de biogas. La tecnología de la fermentación, el diseño del equipo, la organización del proceso, la política de desarrollo de la tecnológica de producción de biogas y el control de las condiciones técnicas, deberán basarse en el conocimiento de la microbiología de la fermentación metanogénica (8).

La fermentación metanogénica es un proceso común típico en la naturaleza un componente importante del ciclo de las masas. Los microorganismos de fermentación que producen biogas están ampliamente distribuidos en la naturaleza, sobre todo en lagos, montones de estiércol, aguas mieles de café, otros lodos. Estos constituyen recursos para obtener microorganismos metanogénicos útiles para el hombre (8).

Las bacterias metanogénicas se encuentran también en algunas planta y animales superiores, entre ellos el estomago del rumiante que ofrece un ejemplo típico de órgano especializado en este tipo de fermentación (8).

### 3.2.1 MICROORGANISMOS NO METANOGENICOS

Los microorganismos que no producen metano son una serie de microorganismos que convierten complejos productos orgánicos (carbohidratos, proteínas y grasas) presentes en el material de fermentación en compuestos más sencillos y pequeños, como ácidos orgánicos, cetonas,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  y otros. Sin la acción de estas bacterias no sería posible la producción de biogas ya que las bacterias metanogénicas no pueden aprovechar directamente los compuestos orgánicos a menos que estos hayan sido degradados y convertidos.

Los microorganismos que no producen metano pueden clasificarse en tres grupos: bacterias, mohos y protozoos, entre los cuales las bacterias son de mayor importancia.

Algunas familias de bacterias no metanogénicas en la fermentación para producir biogas son: *Aerobacter*, *aeromonas*, *Alcaligenas*, *Bacillus*, *Bacteroides*, *Clostridium*, *Escherichia*, *Klebsiella*, *Leptospira*, *Neisseria*, *Proteus*, *Rhodopseudomonas*, *sarcina*, *Streptococcus* y *Streptomycis*.

Sobre la base de sus grupos fisiológicos, las bacterias no metanogénicas se clasifican en siete grupos, las que descomponen respectivamente: la celulosa, la hemi-celulosa, almidón, las proteínas y las grasas; las que producen hidrógeno y las que emplean ácido láctico.

**Bacterias catabolizadoras de celulosa:** en la naturaleza hay gran cantidad de recursos de fermentación que contienen celulosa, especialmente en zonas rurales, los rastrojos vegetales y los excrementos humanos y de animales. En la producción de biogas, la descomposición de la celulosa tiene un efecto directo sobre la formación de metano.

En condiciones anaerobias de fermentación para producir biogas, se ha encontrado que el *Clostridium omelianskii*, *Cl. Thermoceillum*, *Cl. Dissolvens* y otros son capaces de descomponer la celulosa.

**Bacterias catabolizadoras de hemi-celulosa:** estas bacterias descomponen la semi-celulosa para producir Xilosa, arabinosa, galactosa y manosa. Entre estas bacterias se encuentra la *Bacteroides ruminicola*.

**Bacterias catabolizadoras de almidones:** estas bacterias descomponen los almidones para formar glucosa. La cantidad de bacterias catabolizadoras de almidones presentes en la masa de fermentación se relaciona con su contenido de almidón. Entre estas bacterias se encuentran principalmente bacteroides, cocos Gram positivos y *Bacterium botylicum*.

**Bacterias catabolizadoras de proteínas:** estas bacterias descomponen las proteínas para producir aminoácidos, que luego se convierten en ácidos orgánicos, alcoholes, amoníaco y sulfuro de hidrógeno.

Las principales bacterias de este tipo que se encuentran en un digestor de biogas son: *Clostridium* Gram positivas.

**Bacterias catabolizadoras de grasas:** estas bacterias descomponen las grasas para producir ácidos grasos de cadena corta. El vibrio es la bacteria mas común en la fermentación anaerobia, encontrando también algunos Bacillus, Alcaligenes y monas.

**Bacterias acetogénicas productoras de hidrógeno:** este grupo de bacterias es de suma importancia entre las colonias de microorganismos no productores de metano, ya que transforman productos como: alcoholes, sustancias orgánicas saturadas volátiles, incluso ácido butírico y propiónico; en ácido acético, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>.

### 3.2.2 BACTERIAS METANOGENICAS

El principal producto de la fermentación en la fabricación de biogas es el metano como resultado de la acción de las bacterias metanogénicas.

Estas bacterias forman un grupo de microorganismos muy específico, son muy sensibles al oxígeno y los óxidos. Sólo pueden usar como sustrato los compuestos orgánicos e inorgánicos más sencillos.

En cuanto a la clasificación de las metanobacterias no existe un sistema bien definido. Backer (1956) resume las metanobacterias en una sola familia: *Metanobactericeae*, incluyendo bacilos y cocos.

Balch (1979) sugiere una clasificación en la cual las metanobacterias se agrupan en tres ordenes, cuatro familias, siete géneros y trece especies; las cuales se presentan en la tabla 1.1.

### 3.3 CARACTERÍSTICAS DE LA FERMENTACIÓN PARA LA PRODUCCION DE BIOGAS

La producción de biogas es un proceso anaeróbico de fermentación o digestión.

El proceso para producir  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  y una pequeña cantidad de otros compuestos a partir de los materiales de fermentación se cumple mediante una serie de complejas reacciones bioquímicas. Una parte del carbono se oxida completamente formando anhídrido carbónico, y la otra se reduce en alto grado para formar metano. El anhídrido carbónico es un compuesto estable, y a la falta de oxígeno molecular, el metano tampoco puede oxidarse más, de manera que también es estable. En la fermentación del biogas por lo tanto, se lleva a cabo por completo la oxidación y reducción del carbono (8).

**Tabla 1.1 Clasificación de las metanobacterias (Balch, 1979)**

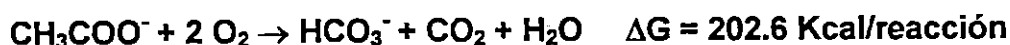
ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIES
Metanobacteriates	Methanobacteriaceae	Metanobacterium	M. formicium M. Bryantii M. thermoautotrophicum
		Metanobrevibacter	M. ruminantium M. arboriphilus M. smithii
Metanococcales	Metanococcaceae	Metanococcus	M. vannielii M. voltae
Metanomicrobiates	Metanomicrobiaceae	Metanogenium	M. Caraci M. marisnigri
		Metanospirillum Metanomicrobium	M. hungatei M. mobile
	Metanosarcinaceae	Metanosarcina	M. Barkeri

En el proceso de fermentación para producir biogas se degrada continuamente una serie de compuestos orgánicos para formar metano, que por lo consiguiente constituye una parte importante en el ciclo de la masa y la energía en la naturaleza.

En comparación con la degradación de los compuestos orgánicos en condiciones aeróbicas, la fermentación del biogas reúne ciertas características que son las siguientes:

**a) Los microorganismos metanogénicos consumen menos energía**

En el proceso de formación de metano por degradación de sustratos de fermentación, los microorganismos correspondientes obtuvieron energía y materiales para su crecimiento y multiplicación. En el caso de sustratos equivalentes, la energía liberada por la digestión anaeróbica representa de una veintava a una treintava parte de los que consume la degradación aeróbica, calculada según la siguiente ecuación (8):



Es evidente por lo tanto, que en un proceso de fermentación del metano los microorganismos obtienen menos energía libre.

**b) Se requirieren menos nutrientes**

Las bacterias metanogénicas requieren menos nutrientes por lo que es amplia la variedad de residuos que pueden tratarse. Los lodos urbanos y diversos residuos agrícolas, los licores residuales de una fábrica de alcohol, los lodos de una fábrica de cueros, etc. todos pueden emplearse para la fermentación de biogas. Pero en este tipo de fermentación, las materias orgánicas que pueden eliminarse suelen ser inferiores al 90% es preciso así alcanzar cierta norma para el desagüe posterior de los líquidos antes de que puedan volver a tratarse (8).

**c) La fermentación del biogas se ve afectada marcadamente por la temperatura**

Como la temperatura influye poderosamente en la velocidad de reacción, en la fermentación de biogas muchas veces es preciso emplear calefacción y mantener la temperatura a fin de conservar una velocidad estable de digestión (8).

**d) Los productos finales, el metano y el anhídrido carbónico de la fermentación se aislan fácilmente del líquido de digestión.**

El metano es un combustible gaseoso extremadamente útil. Además, el proceso mismo consume muy poca energía y también es muy poca la fuerza necesaria para mantener el proceso de fermentación, lo que hace que la fermentación para producir biogas sea un proceso muy conveniente para la fabricación de bioenergía (8).

### **3.4 MATERIAS PRIMAS PARA LA PRODUCCION DE BIOGAS Y BIOABONO**

Este es otro elemento importante en la operación de un digestor, en vista de que no todos los materiales orgánicos tienen la misma capacidad de producir biogas. Puede emplearse una gran variedad de desechos orgánicos, animales, vegetales o humanos en algunos casos solos y, en otros, mezclados; como sustratos principales para la generación de biogas, los cuales deben contener cantidades adecuadas de nutrientes para el metabolismo de las bacterias anaeróbicas involucradas en este proceso.

Entre los materiales de desecho utilizados para la producción de biogas están:

- Desechos vegetales
- Desechos de origen animal
- Desechos de origen humano
- Desechos orgánicos de industrias o agroindustrias
- Desechos de cultivos acuáticos (11).

#### **3.4.1 DESECHOS VEGETALES**

Los materiales sólidos tienen mucha potencialidad como sustratos para producir biogas aunque a diferencia de los excrementos animales, presentan problemas particulares relacionados con el proceso de digestión. El contenido en el material vegetal de sustancias solubles en agua (azúcares, aminoácidos, proteínas, constituyentes minerales), lo hace un buen sustrato para la producción de biogas.

En la descomposición de las plantas (exceptuando las leguminosas), la disponibilidad baja de nitrógeno es un factor limitante. El contenido de nitrógeno en los residuos de plantas varía con las especies, edad de la planta, factores del medio que afecten el cultivo y la disponibilidad de nitrógeno orgánico. Experimentos realizados muestran que solamente cerca de 6 miligramos de nitrógeno por gramo de sustrato (0.6%), son necesarios para sostener el proceso de digestión anaerobia (12).

Existen algunos productos de plantas que aunque no se consideran normalmente como residuos vegetales son sustratos potenciales para la producción

de biogas. Los desechos de silvicultura por ejemplo, son abundantes en los países boscosos y pueden por esto, tomarse en cuenta para obtener biogas a partir de ello.

En algunas regiones de los países tropicales y semitropicales, los cultivos de algas filamentosas, jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), la lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) y otras hierbas acuáticas son un problema pérenne en estanques, embalses hidroeléctricos y otros cuerpos de agua; estos cultivos acuáticos son buenas reservas para la producción de energía. Se ha estudiado que la digestión anaerobia de una libra de algas (peso seco), puede producir tanto metano para dar 6,000 BTU (12).

### 3.4.2 MATERIALES DE ORIGEN ANIMAL

Los desechos animales (estiércol) en una comunidad agrícola como la de nuestro país representan una fuente significativa de sustratos para los procesos de bioconversión. Estos desechos son una fuente potencial de nitrógeno, y por ende un material con uso potencial para la digestión anaerobia. En la tabla 1.2 se encuentran tabuladas las cantidades diarias de producción de estiércol de diferentes animales y en la tabla 1.3 se presenta la producción a partir de sustratos de origen animal, vegetal y humano.

**Tabla 1.2 Producción estimada de estiércol animal  
(Paredes 1992)**

Fuente	Kg/día	Ton/año
Vaca lechera estabulada	32.9	12
Vaca lechera pastoreo	27.4	10
Vacuno de engorde	43.3	16
Caballo	27.4	10
Cerdo	41.0	1.5
Gallina ponedora	0.19	0.07



**Tabla 1.3. Producción de biogas a partir de distintos sustratos  
(Aguilar, 1985)**

	Producción de biogas por unidad de peso de sólidos secos		Temperatura del biodigestor		Contenido de CH <sub>4</sub> en el gas (%)	Tiempo de retención (Días)
	P <sup>3</sup> /lb	M <sup>3</sup> /Kg	°F	°C		
Materia Prima	P <sup>3</sup> /lb	M <sup>3</sup> /Kg	°F	°C		
Estiércol de vaca lechera	5.3	0.33	--	--	--	--
Estiércol de res (India)	3.6 - 8	0.23 - 0.5	52 - 88	11.7 - 17.3	--	--
Estiércol de res (Alemania)	3.1 - 4.7	0.2 - 0.29	60 - 63	15.5 - 17.3	--	--
Estiércol de res de engorde	13.7	0.86	95	36.4	58	10
Estiércol de res de engorde	17.7	1.11	95	34.6	57	10
Estiércol de gallina (ponedora)	5.0	0.31	99	37.3	60	30
Estiércol de gallina (engorde)	8.9	0.56	123	50.6	69	9
Estiércol de gallina (engorde)	7.3 - 8.6	0.46 - 0.54	90.5	32.6	58	10 - 15
Estiércol de puercos (engorde)	11.1 - 12.2	0.69 - 0.76	90.5	32.6	58 - 60	10 - 15
Estiércol de puercos (engorde)	7.9	0.49	91	32.9	61	10
Estiércol de puercos	16.3	1.02	95	34.6	68	20
Estiércol de ovejas	5.9 - 9.7	0.37 - 0.61	--	--	64	20
Hojas de remolacha	8	0.5	--	--	--	14
Algas	5.1	0.32	113 - 122	45 - 50	--	11 - 20
Excretas Humanas	6	0.38	68 - 79	20 - 26.2	--	21
Residuos de basura	10.26	0.64	--	--	50	--

-- No Existen Datos

### **3.5 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA OPERACIÓN DE LOS BIODIGESTORES**

En el funcionamiento de un biodigestor es importante considerar factores ambientales como operacionales, que afectan la población microbiana. Entre los factores ambientales tenemos: temperatura, pH, concentración de ácidos grasos volátiles, disponibilidad de nutrientes y otros. Como factores operacionales cuentan: porcentaje de sólidos presentes, naturaleza del sustrato, agitación, tiempo de retención etc. La comprensión de las condiciones adecuadas para la digestión anaerobia ha contribuido al diseño de mejores reactores y sistemas de control, contribuyendo así a aumentar las posibilidades de aplicación de la tecnología.

A continuación se explorarán brevemente algunas de las condiciones que influyen sobre las bacterias metanogénicas dentro del digestor:

#### **3.5.1 FACTORES AMBIENTALES**

##### **a) Temperatura**

Este es uno de los factores más importantes para la producción de biogas, la digestión anaerobia ocurre en un rango de temperaturas que va desde 5°C hasta 55°C; por lo que la especie bacterial presente en el digestor dependerá de la temperatura de operación de este. Se conocen tres clases diferentes de bacterias: criofílicas, que viven en temperaturas menores de 20°C, mesofílicas que viven en rangos de 20°C a 45°C y por último las termofílicas que viven en rangos mayores de 45°C. En el intervalo mesofílico, que es de nuestro interés pues las condiciones de temperatura de nuestro país se encuentran en ese rango, la producción óptima de biogas se encuentra entre los 30 y 37 °C, esta crece a medida que aumenta la temperatura, pero se ha observado que en el intervalo de 38°C a 45 °C, la producción de biogas decrece; debido a que se disminuye la cantidad de bacterias que pueden vivir en tales circunstancias.

## **b) Alcalinidad, pH y acidez**

La alcalinidad se conoce como la capacidad tamponadora del sistema y es el resultado de la presencia de carbonato, bicarbonato e hidróxidos de calcio, magnesio, sodio y potasio. Una forma de control del digestor, es a través de la obtención del valor de la alcalinidad por titulación a pH de 6, expresada como miligramos de carbonato por litro de material. Un intervalo de 1000 a 2000 mg/l se considera normal, aunque es deseable un valor mas alto, para tener una mayor capacidad tamponadora en caso de tener un surgimiento súbito de ácidos volátiles (9).

La alcalinidad protege de fluctuaciones del pH y éste se mantiene por el CO<sub>2</sub> durante la formación de metano. Se ha encontrado que el pH óptimo para la producción de biogas es de 7 a 8 (10).

Cuando las bacterias degradan el material orgánico, se forman los ácidos grasos volátiles, estos hacen que el pH fluctúe, de modo que en un biodigestor habrá problemas cuando la acumulación de ácidos grasos volátiles sea alta, esto puede controlarse si se controla el pH y la alcalinidad.

## **c) Humedad**

Las bacterias requieren un mínimo de humedad para su normal operación metabólica. El límite mínimo depende en gran parte del sistema, pero por general se recomienda que la materia prima introducida al digestor debe contener aproximadamente 90% de humedad.

## **d) Nutrientes**

Una célula microbiana contiene una relación C:N:P:S de aproximadamente 100:10:1:1. En cuanto a los nutrientes es de gran importancia la razón C:N. se ha encontrado que el óptimo es 25:1. Si hay mucho carbono y pequeña cantidad de nitrógeno, la bacteria no puede utilizar todo el carbono presente, y la degradación de la materia orgánica será ineficiente; por el contrario, si la presencia de nitrógeno es

alta, el nitrógeno en exceso se acumulará en forma de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) que puede inhibir el crecimiento de bacterias metanogénicas en concentraciones cercanas a 3000 mg/l de amoníaco, a un pH mayor de 7.4 (10). Sin embargo, ensayos más recientes han demostrado que este límite no es absoluto y que una población metanogénica bien adaptada puede utilizar efluentes con concentraciones mayores de nitrógeno. En la tabla 1.4 se presentan valores de relación Carbono-Nitrogeno para algunos materiales comúnmente usados para la producción de biogas.

Las bacterias también necesitan fosfato y aunque su exceso no es tan grave, su carencia inhibe el proceso. La razón óptima C:P es de 150:1. El azufre también es necesario pero se requiere menos que el fosfato. Sin embargo, si los desechos contienen azufre en forma de ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) al quemar el metano se puede presentar problemas de corrosión. (10)

**Tabla 1.4 Relación Carbono-Nitrógeno para algunos materiales (ICAITI; 1983)**

MATERIAL	C/N
Estiércol de vacunos	16-20
Estiércol de cerdo	15-20
Estiércol de gallina	6-7
Estiércol de caballo	25
Desecho de mataderos	2
Gramma napier	41
Gramma corriente	12
Tallos de trigo	128
Aserrín	200-500
Rastrojo de maíz	53

#### e) Materiales tóxicos

Frecuentemente los sistemas biológicos se ven afectados cuando la concentración de los componentes rebasa los límites normales o cuando son expuestos a agentes tóxicos. Como ya se menciono anteriormente las bacterias metanogénicas se ven afectadas por la elevación de la cantidad de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), particularmente cuando el pH esta cercano a 7. Los ácidos grasos volátiles también

se consideran tóxicos, aunque, existe mucha controversia sobre la forma en que afecta la alta concentración de estos.

Otro problema particular lo presentan los antibióticos, desinfectantes y pesticidas, el límite máximo tolerable aun no se conoce, pero la presencia de estos en los biodigestores puede evitarse mediante medidas de control.

### 3.5.2 FACTORES OPERACIONALES

#### a) Tiempo de retención

Es el tiempo que tarda la materia prima dentro del digestor para ser degradado. El tiempo mínimo en que tardan las bacterias para multiplicarse es de 2 a 4 días, usualmente el tiempo de retención promedio oscila entre 20 y 30 días, y su duración esta relacionada con la temperatura y el tipo de materia prima.

Una forma de verificar si la digestión es completa, es observando si el residuo del digestor esta completamente licuado, no posee mal olor y no se acercan las moscas.

#### b) Contenido de sólidos totales

La preparación de materia prima, que alimentará el biodigestor debe de hacerse de tal forma que el contenido de sólidos totales sea de 7-10% del total de la mezcla. Para lograr esta proporción, los desechos orgánicos frescos deben diluirse con agua, cuyas cantidades dependen del tipo de desecho (11). En la tabla 1.5 se presentan los sólidos totales para diferentes sustratos.

**Tabla 1.5 Sólidos totales en sustratos diferentes (ICAITI, 1983)**

Material	Sólidos Totales
Estiércol de vacunos	16-20%
Estiércol de cerdos	18%
Estiércol de gallinas	40-50 %
Excretas Humanas	17%
Rastrojo y hojas de maíz	77%
Pajas de arroz	92.6%

### **c) Agitación o mezcla**

El digestor puede ser diseñado para que haya agitación o no. La agitación puede hacerse por medio de flujo o en forma mecánica y tiene la ventaja de evitar que el sustrato este muy unido, las bacterias tienen mayor distribución dentro de él y que se disminuye la formación de nata, que es al que forma una barrera para el escape del gas (10).

#### 4.0 BIOGAS COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS

El biogas o gas biológico, es un gas combustible que se produce a partir de la fermentación anaerobia de desechos orgánicos; en forma natural y espontánea se forma en los lugares en que hay acumulación de esos desechos; pero técnicamente se produce en tanques contruidos especialmente para este fin, llamados digestores o biodigestores (15).

El biogas es un gas incoloro, con olor a materia en descomposición, altamente combustible, arde con llama azul pálido. Los análisis muestran que está compuesto principalmente de metano (55% y 70%, dependiendo de la materia prima utilizada para su generación) y de dióxido de carbono (45 a 30% en volumen); estos porcentajes dependen del tipo de desecho orgánico para producirlo, así como de las condiciones en que se efectúa la fermentación en los digestores (15).

Cuando la composición del metano en el biogas es de aproximadamente 55%, este tiene un poder calorífico de 19,750 KJ/m<sup>3</sup>. A causa de esto el biogas puede ser empleado para varios usos (figura 1.2).

Dependiendo del tipo de biomasa y de las condiciones de la fermentación anaerobia, la descomposición del gas puede variar, siendo su composición aproximada la siguiente (12):

▪ Metano (CH <sub>4</sub> )	55-70 %
▪ Bióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	25-45 %
▪ Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	1-5 %
▪ Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	0.5-3 %
▪ Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	menos-0.1%

Para fines prácticos el biogas se considera una mezcla binaria (60% CH<sub>4</sub>, 40% CO<sub>2</sub>). No es posible licuar el gas a la temperatura ambiente (en el anexo G se presentan algunas características físicas del biogas), lo que sí se logra con el propano, esto representa una limitación para el almacenamiento de biogas puesto que no es posible almacenar el biogas en cantidades grandes dentro de recipientes pequeños. Hay que consumirlo según se va produciendo o almacenarlo en una bolsa

de plástico o de tela ahulada, siempre que se pueda tener la seguridad de que es impermeable al biogas y que no tiene fugas.

Es importante darle un tratamiento al biogas antes de ser usado para cocción de alimentos, ya que el contenido de ácido sulfídrico aunque pequeño puede causar corrosión en las hornillas. El tratamiento más utilizado con este fin es mediante filtros de hierro o trampas de agua.

#### 4.1 APLICACIONES DEL BIOGAS

Las aplicaciones de biogas son muchas tanto en el sector rural: familias, sector agroindustrial, cooperativas y en el tratamiento de desechos municipales, sin embargo este apartado se centrará en los usos que una familia rural puede dar al biogas ya que es en este sector donde se ha tenido experiencia y aplicación en el país. La fermentación de estiércol animal y desechos agrícolas en digestores puede suplir a las familias energía para cocinar, iluminación y biofertilizante para los cultivos; y además, provee a la misma de mejores condiciones de vida, higiénicas y ambientales considerando que incorporan los siguientes beneficios:

- ✓ Se elimina el humo y el hollín al cocinar, al sustituir la leña por biogas
- ✓ Se invierte menos tiempo al cocinar
- ✓ Se disminuyen los requerimientos de leña con lo que se reduce la deforestación.
- ✓ Se eliminan los gérmenes patógenos causados por el estiércol de los animales.
- ✓ Incrementa la productividad agrícola con la aplicación de biofertilizante

Las aplicaciones del biogas son muchas en la figura 1.2, podemos observar sus aplicaciones en cogeneración produciendo electricidad y calor, calor en cocinas para la cocción de alimentos, alumbrado con lamparas y motores para la generación de energía mecánica para operar equipos agrícolas, vehículos, etc.

En la figura 1.3 se puede observar como se integra al sector rural la producción de biogas mediante la utilización de desechos animales y vegetales y la consecuente producción de biogas y bioabono.



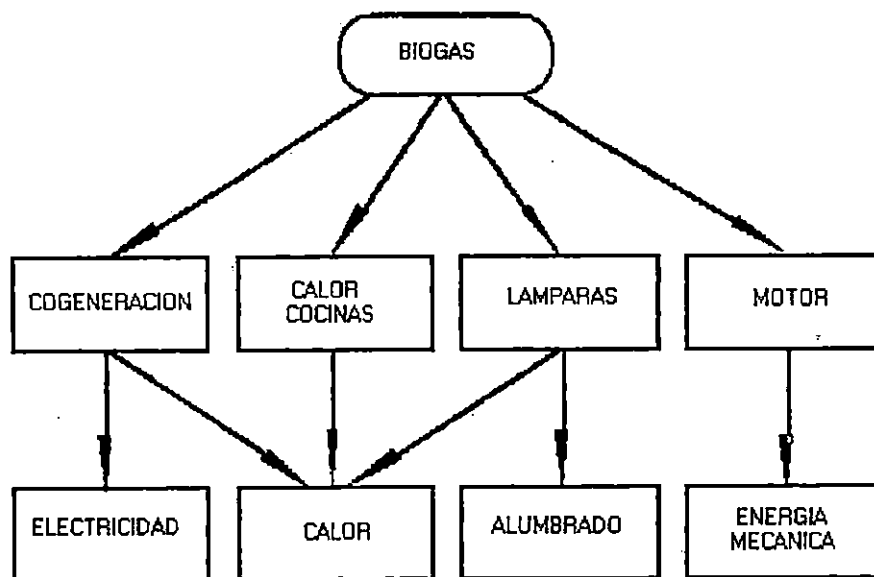


Figura 1.2 Utilización del biogás como recurso energético.

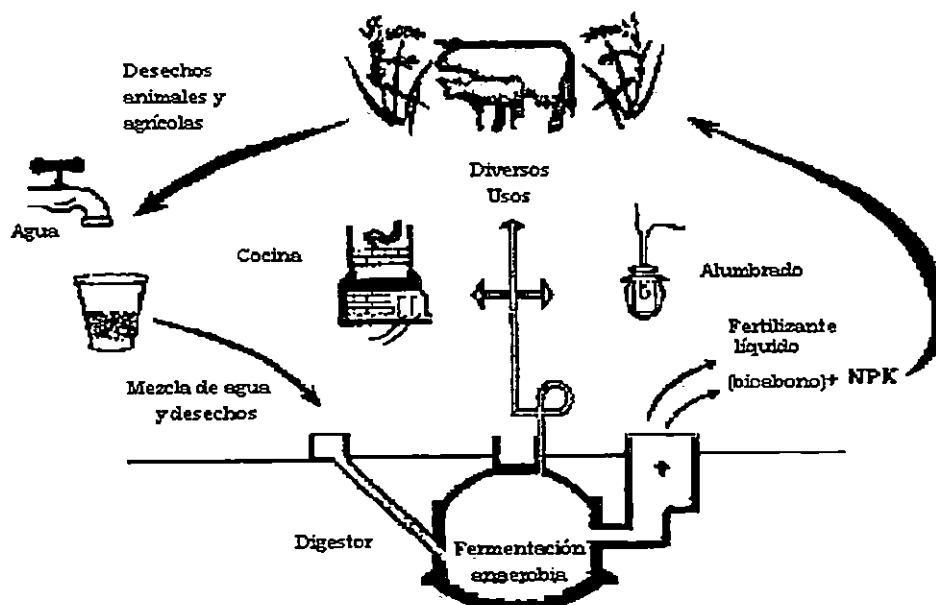


Figura 1.3 Producción de biogás y bioabono en el sector rural doméstico.

#### 4.1.1 USOS DEL BIOGAS EN LA COCINA

El uso doméstico de más importancia del biogas es para cocinar, en sustitución de la leña, el gas propano o el kerosene. En el anexo G se presenta la equivalencia del biogas con estos combustibles.

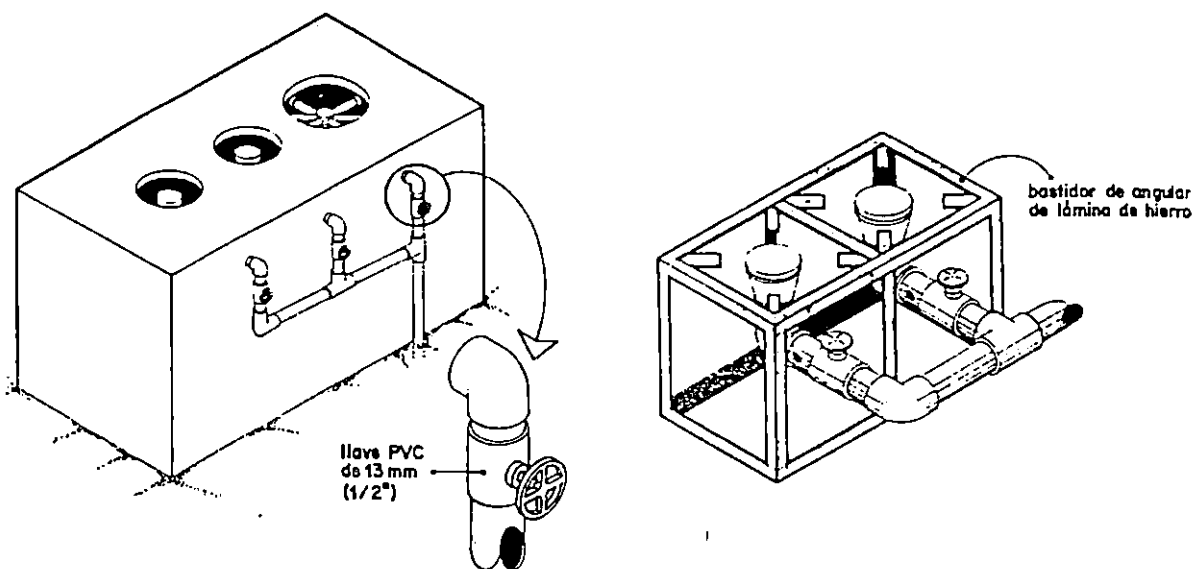
Para el fin de cocción de alimentos se puede construir una estufa especial para biogas o adaptar una cocina comercial de propano o kerosene y modificarlas para usar en ellas biogas.

##### ► Estufas especiales para biogas

La estufa de barro es la que más se usa, por su bajo costo y su facilidad de construcción; a ésta se le instalan quemadores especiales de bajo costo que han sido diseñados tomando en cuenta el poder calorífico y la forma especial de combustión del biogas (longitud de la llama, presión de trabajo, etc); el tamaño de las hornillas y de los quemadores se escogen de acuerdo al tipo y tamaño de los trastos que se usen y a la clase de alimentos que se consuman en el régimen alimenticio. También puede fabricarse estufas pequeñas de metal que funcionen con biogas (Figura 1.4).

Hay muchos tipos de quemadores que pueden usarse, pero se recomiendan dos tipos principales: los quemadores de tipo estrella y los quemadores campana que, entre los que han sido probados en el ICAITI, son los que mejor resultado han dado. El quemador más grande es el llamado "tipo estrella", es apropiado para una hornilla en que se coloque el comal de las tortillas, y también para la hornilla en que se usen recipientes grandes. Este quemador se fabrica de pedazos de tubería de hierro galvanizado unidos con soldadura (Figura 1.5a).

El otro tipo es el de quemador para recipientes pequeños (quemador "campana") que se fabrica de accesorios de hierro galvanizado (Figura 1.5b). Aunque puede hacerse quemadores con latas vacías, tienen poca duración, y por eso no se recomiendan (Figura 1.5c).



**Figura 1.4 Estufas especiales para biogas**

Los quemadores “campana” además de ser muy resistentes y fáciles de hacer, son muy económicos. Consiste en reductores tipo campana, de un tamaño conveniente para los trastos de cortina que se usan (por lo general, de 19 x 51 mm – de 3/4” x 2”). Cada reductor es coronado por un esparcidor de gas, de los mismos que se usan en las estufas de propano, y que pueden adquirirse en los talleres de reparación de estufas.

En estos quemadores se puede usar biogas puro o una mezcla de aire y biogas. En el primer caso, la eficiencia calorífica de la llama es baja, en el segundo es alta, y por lo tanto, preferible. El aire necesario para producir la mezcla apropiada se obtiene mediante un orificio hecho en la tubería que alimenta al quemador.

Cuando se instalan los quemadores en las estufas deberá tenerse el cuidado de dejar una separación de aproximadamente 4 centímetros entre el quemador y los trastos de cocina, para así lograr la máxima eficiencia de la combustión del gas, y para que haya espacio por el que escapen los gases producidos.

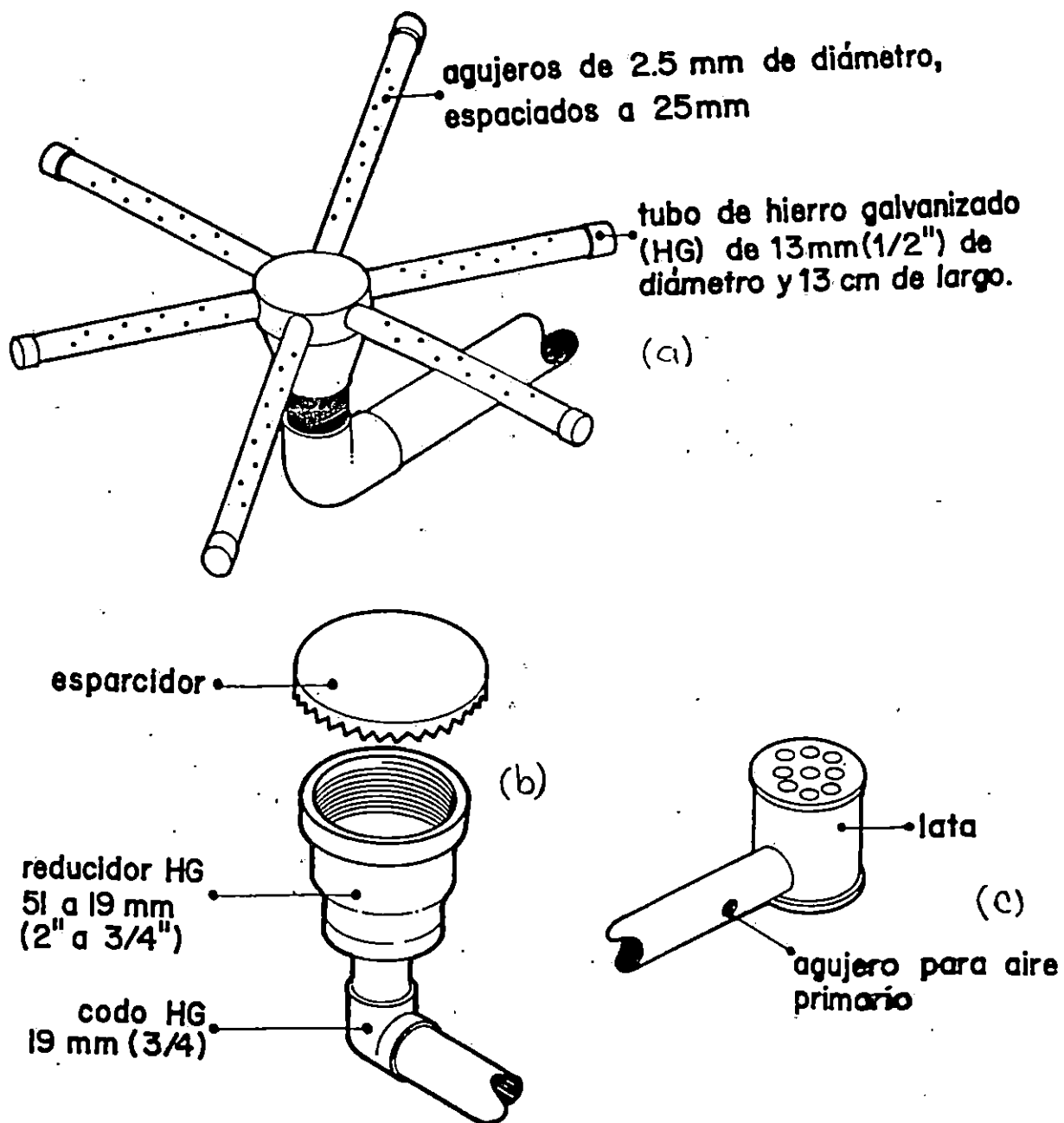


Figura 1.5 Quemadores de biogas (a) Quemador estrella, (b) Quemador campana, (c) Quemador de lata

Los quemadores "campana" además de ser muy resistentes y fáciles de hacer, son muy económicos. Consiste en reductores tipo campana, de un tamaño conveniente para los trastos de cortina que se usan (por lo general, de 19 x 51 mm – de 3/4" x 2"). Cada reductor es coronado por un esparcidor de gas, de los mismos que se usan en las estufas de propano, y que pueden adquirirse en los talleres de reparación de estufas.

En estos quemadores se puede usar biogas puro o una mezcla de aire y biogas. En el primer caso, la eficiencia calorífica de la llama es baja, en el segundo es alta, y por lo tanto, preferible. El aire necesario para producir la mezcla apropiada se obtiene mediante un orificio hecho en la tubería que alimenta al quemador.

Cuando se instalan los quemadores en las estufas deberá tenerse el cuidado de dejar una separación de aproximadamente 4 centímetros entre el quemador y los trastos de cocina, para así lograr la máxima eficiencia de la combustión del gas, y para que haya espacio por el que escapen los gases producidos.

El consumo por hora para los tres tipos de quemadores anteriormente descritos se presenta a continuación:

- Consumo quemador estrella: 570 - 600 L biogas/h
- Consumo quemador hierro galvanizado: 200 - 250 L biogas/h
- Consumo quemador de latas: 285 - 300 L biogas/h

#### ▶ **Modificación de estufas comerciales**

##### **a) Estufas de gas propano**

Una modificación posible para que este tipo de estufa funcione con biogas consiste en ampliar unas dos o tres veces el agujero del inyector de propano de los quemadores. (ver apéndice H).

Otra modificación que puede hacerse consiste en eliminar el inyector que trae la estufa y cerrar el orificio de admisión del aire primario; pero con esto no se produce mezcla aire-biogas, y es una modificación menos eficiente que la anterior.

Regular el paso de combustible en estos quemadores requiere sólo graduar la válvula de control que ya tienen las cocinas.

### b) Estufas de Keroseno

Para adaptar una estufa de keroseno se conservan los quemadores originales, pero se cambian los inyectores y las válvulas por otras unidades nuevas cuyas formas y dimensiones hay que calcular de la forma que se indica en el apéndice I y el apéndice J.

Para satisfacer la demanda de biogas en cocción de alimentos es importante conocer el consumo promedio de biogas de una familia, por lo que se presenta en la tabla 1.6 el consumo de biogas para la cocción de diversos alimentos, observándose que una familia de cinco miembros requiere de 2 m<sup>3</sup> de biogas, para lo cual necesitará un digestor de 5 m<sup>3</sup> y alrededor de 10 a 25 cabezas de ganado bovino y 30 de ganado porcino según lo expuesto en la tabla 1.7.

Tabla 1.6 Consumo de biogas en la cocción de diferentes alimentos  
(ICAITI, 1985)

COCINA CONSUMO (m <sup>3</sup> biogas)	Frijol 1lb	Arroz 1lb	Maíz 1lb	Tortillas 1 lb	Carne 1lb	Café 1lt	Huevos Fritos (4)	3 comidas 5 personas
	0.5	0.175	0.269	0.3	0.4	0.125	0.3	2.0

Tabla 1.7 Cantidades de estiércol y producción de biogas  
estimadas por tamaño de biodigestor (18).

Tamaño del biodigestor (m <sup>3</sup> )	Nº porcinos	Estiércol porcino (kg/día)	Producción biogas (m <sup>3</sup> /día)	Nº bovinos	Estiércol vacuno (kg/día)	Producción de biogas (m <sup>3</sup> /día)
5	30	40 - 80	1.6 - 3.0	10 - 25	50 - 70	1.25 - 2.25
15	65	100 - 160	4.0 - 6.0	30 - 50	150 - 220	3.70 - 6.60
30	140	200 - 300	8.0 - 13.0	65 - 90	300 - 450	7.0 - 13.0
50	250	400 - 600	15.0 - 28.0	100 - 140	500 - 750	12.0 - 22.0

En la tabla 1.8 se presenta el consumo de biogas de equipos de cocción de alimentos, iluminación y motores.

Tabla 1.8 Consumo de biogas en la utilización de diversos equipos  
(ICAITI, 1985)

EQUIPO	Quemador de estufa 8 cm	Quemador de estrella de comal	Lámpara camisa 25 watt	Motor gasolina 3 HP	Motor diesel 7HP 50/50	Refrigerador 8 pies <sup>3</sup>	Generador Por kw
Consumo (Litros de biogas/hr)	290	580	100	1350	1600	275	900

#### 4.1.2 USO DEL BIOGAS EN ILUMINACIÓN

El uso de biogas en iluminación, por medio de lámparas es muy útil en zonas o regiones no electrificadas. Al igual que su uso en cocinas pueden fabricarse lámparas especiales o pueden adaptarse lámparas comerciales con "camisa", tipo Coleman (que funcionan con queroseno o gas propano), y requieren solo una pequeña modificación para producir biogas.

##### ► Lámparas especiales para biogas

Es posible fabricar lámparas de bajo costo y totalmente funcionales con tuberías y accesorios para agua potable, de fácil adquisición en el comercio. Un tubo de vidrio es la única pieza importada que se necesita, ya que es indispensable que sea de vidrio tipo Pyrex, que resiste las altas temperaturas; en el mercado se vende como repuesto para las lamparas Coleman de 400 bujías. Una lámpara de este tipo produce una iluminación equivalente a la de una bombilla incandescente de 40-50 vatios, que resulta igual o mejor a la obtenida con las lámparas modificadas. (Ver Figura 1.6)

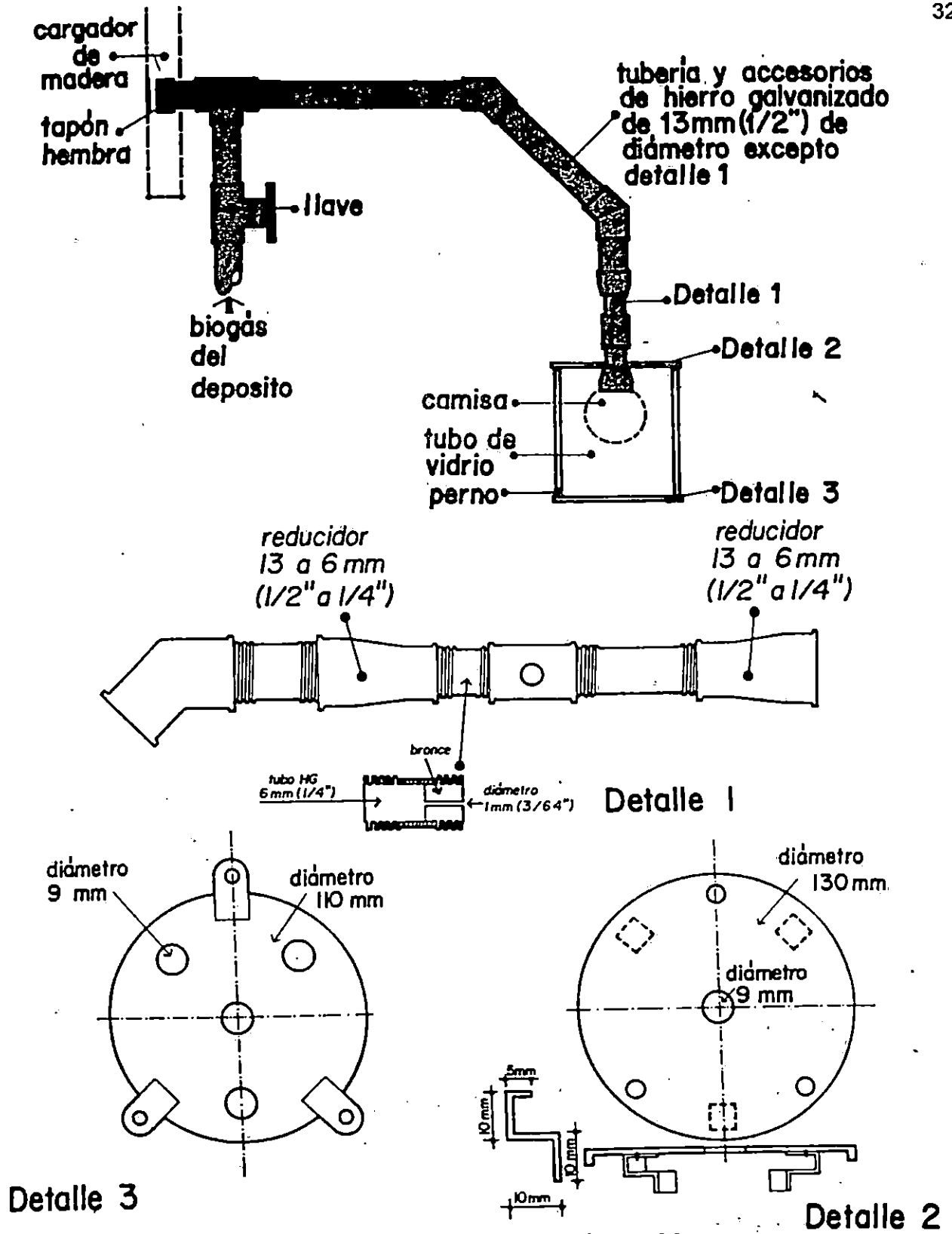


Figura 1.6 Lámpara especial para biogás

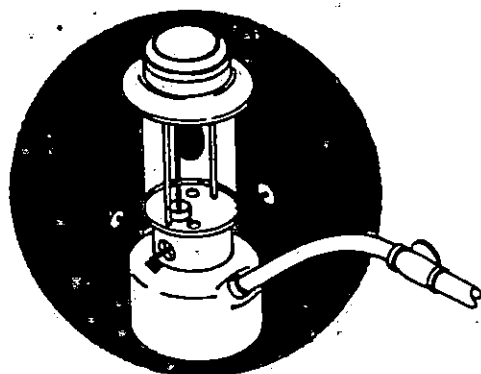


Es requisito indispensable que el gas tenga una presión mínima entre 7.5 y 10 cm de columna de agua, lo cual fácilmente se puede obtener en los digestores que almacenan gas internamente. En los casos en que el biogas se almacena en bolsas, la presión necesaria puede conseguirse con un peso colocado sobre ellas, o mediante una válvula de presión instalada en la tubería que conecta el digestor con la lámpara. (Apéndice K). En general, con mayor presión del gas se produce mayor iluminación. El consumo de biogas de una lámpara, según el número de camisas es:

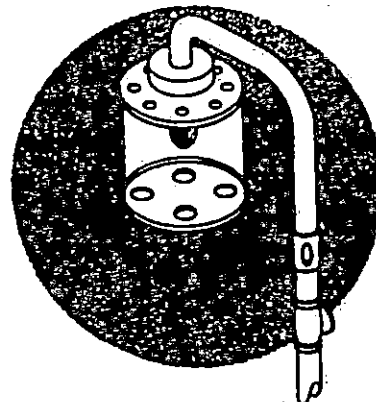
- 1 camisa : 0.08 a 0.10 m<sup>3</sup>/hora de biogas
- 2 camisas : 0.125 a 0.15 m<sup>3</sup>/hora de biogas
- 3 camisas : 0.175 a 0.20 m<sup>3</sup>/hora de biogas

#### ► Lámparas comerciales modificadas

Las lámparas con "camisa", tipo Coleman (que funcionan con keroseno o con gas propano), requieren solo una pequeña modificación para que puedan quemar biogas. Esta modificación consiste en agrandar el agujero del inyector del gas a un diámetro de 1 mm, y reducir la garganta del tubo de mezcla a 8 mm. (Figura 1.7). Existe el inconveniente de que la adquisición de este tipo de lámpara es cara. (Ver Apéndice L).



**lámpara tipo Coleman**



**lámpara tipo bastón**

**Figura 1.7 Lámparas de camisa**

### ► Operación de las lámparas

Antes de usar la lámpara, es necesario prepararla, según las instrucciones siguientes:

1. Quite el tubo de vidrio
2. Amarre al esparcidor una "camisa" de 300-400 bujías
3. Empareje la boca de la "camisa" para que no tenga arrugas
4. Coloque el tubo de vidrio en su lugar
5. Abra un poco el paso del biogas
6. Con una llama encienda la "camisa"
7. Abra la admisión de gas hasta que la "camisa" se ponga incandescente
8. Apague la lámpara y deje que se enfríe durante 10 minutos para que la "camisa" se endurezca y tenga así mayor duración.

Luego de esta preparación se puede usar la lámpara normalmente: aplique una llama a la "camisa", sin tocarla directamente (porque se destruiría), y abra el paso de gas. Para apagar, solamente suspenda el suministro de gas.

### 4.1.3 USOS DEL BIOGAS EN MOTORES ESTACIONARIOS DE COMBUSTIÓN INTERNA

Esta aplicación es una de las más atractivas que puede dársele al biogas en granjas donde es común el uso de bombas de agua, picadoras de pasto o plantas generadoras de energía eléctrica, todas ellas accionadas por motores de diesel o gasolina, los cuales pueden ser adaptados para que usen biogas en lugar de combustible tradicional, lo que es muy conveniente por el alto costo de los combustibles derivados del petróleo.

#### ► Motores de gasolina

Mediante una sencilla adaptación hecha a estos motores, se puede sustituir totalmente la gasolina por biogas. La adaptación consiste en intercalar entre el filtro

de aire y el carburador una "Te" y unos pequeños tubos de hierro o de plástico, por los que entre el biogas. La presión de suministro puede variar desde 2.5 hasta 12 cm de columna de agua, según sea el trabajo que realice el motor, pero es necesario que la presión se conserve constante durante todo el tiempo que dure dicho trabajo (ver Figura 1.8 a).

Para ciertos modelos de motor puede hacerse otras adaptaciones más sencillas. Por ejemplo, en algunos se puede alimentar el biogas por la manguera de entrada de gases del carter hacia el carburador, mediante una "Te" intercalada en ella. (Ver Figura 1.8b).

Corno el poder calorífico del biogas es bajo, no es posible arrancar un motor frío solo con este combustible. Es necesario colocar 2 o 3 centímetros cúbicos de gasolina en el carburador, y luego arrancar; cuando ya se haya consumido esta gasolina (aproximadamente después de 15 segundos) se abre lentamente la válvula

#### ► Motores Diesel

Si se desea conservar el motor en sus condiciones originales, solo es posible sustituir parcialmente el diesel por biogas (hasta un 50-60% ).

No es necesario hacer cambios a las partes mecánicas del motor o al sistema de inyección. Basta, simplemente con hacer modificaciones para que llegue el biogas al sistema de entrada de aire del motor, y colocar una válvula para regular la admisión (Figura 1.9).

La sencillez de las modificaciones necesarias se debe a que la transición de 100% de diesel a la mezcla diesel-biogas se produce automáticamente en el motor: cuando recibe biogas, se acelera; entonces el gobernador de la bomba de inyección reduce la cantidad de diesel suministrado a la cámara de combustión y la aceleración se normaliza.

El primer día, el motor debe ser arrancado con diesel y se deja calentar durante unos 3 o 5 minutos; entonces se abre gradualmente la válvula de biogas hasta que el motor tosa en forma irregular; en ese momento, se cierra poco a poco la válvula hasta que el motor funcione en forma pareja y suave; al hacer esto último, se

nota un aumento en las revoluciones. La posición en que queda la válvula debe marcarse para que el arranque sea mas fácil en los días siguientes.

Si se aplicara mas carga al motor, es necesario suministrarle mas biogas. Cuando el motor ya no recibe biogas, pasa a funcionar normalmente con diesel.

No es recomendable intentar la sustitución de mas del 60% del diesel por biogas, porque hay el riesgo de que los inyectores sufran danos a causa de las altas temperaturas que se producirían dentro del motor.

Para lograr una sustitución total, es necesario hacer modificaciones radicales al motor, pero tales modificaciones serían costosas e impedirían que funcionara posteriormente solo con diesel (limitación que no tienen las modificaciones hechas a motores de gasolina).

▪ **Ventajas del uso de una mezcla diesel-biogas:**

- a) Reducción de un 50% en el consumo de diesel, aproximadamente.
- b) Aumento de potencia en el funcionamiento del motor (aproximadamente 10%).
- c) Menos formación de carbón; menos problemas con anillos, etc, lo que contribuye a que la vida del motor sea más larga.

#### **4.1.4 OTRAS APLICACIONES DEL BIOGAS**

Existen numerosas aplicaciones del biogas entre las cuales tenemos:

- Refrigeración: los refrigeradores que funcionan en base al principio de absorción y que usan gas propano, gas natural o kerosene pueden ser adaptados fácilmente para que funcionen con biogas; la adaptación consiste en sustituir la fuente de calor original por un quemador de biogas que produzca una cantidad equivalente al flujo calorífico.
- Calentadores de ambiente para criaderos de pollos y cerdos, en los que los calentadores comerciales han sido modificados para trabajar con biogas.
- Secado de granos: se ha ensayado el uso de biogas en quemadores con intercambiadores de calor.

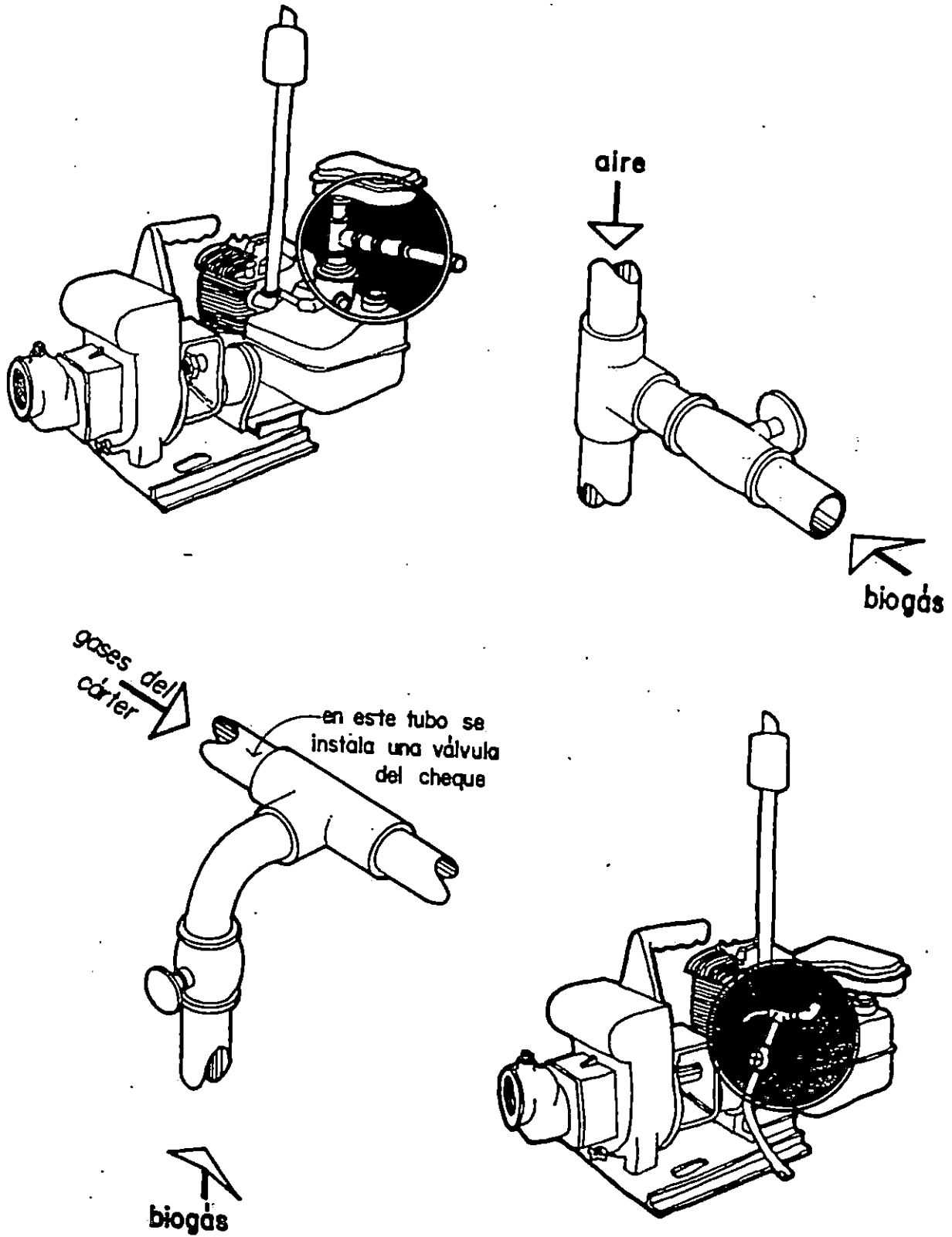


Figura 1.8 Motor de Gasolina a biogas

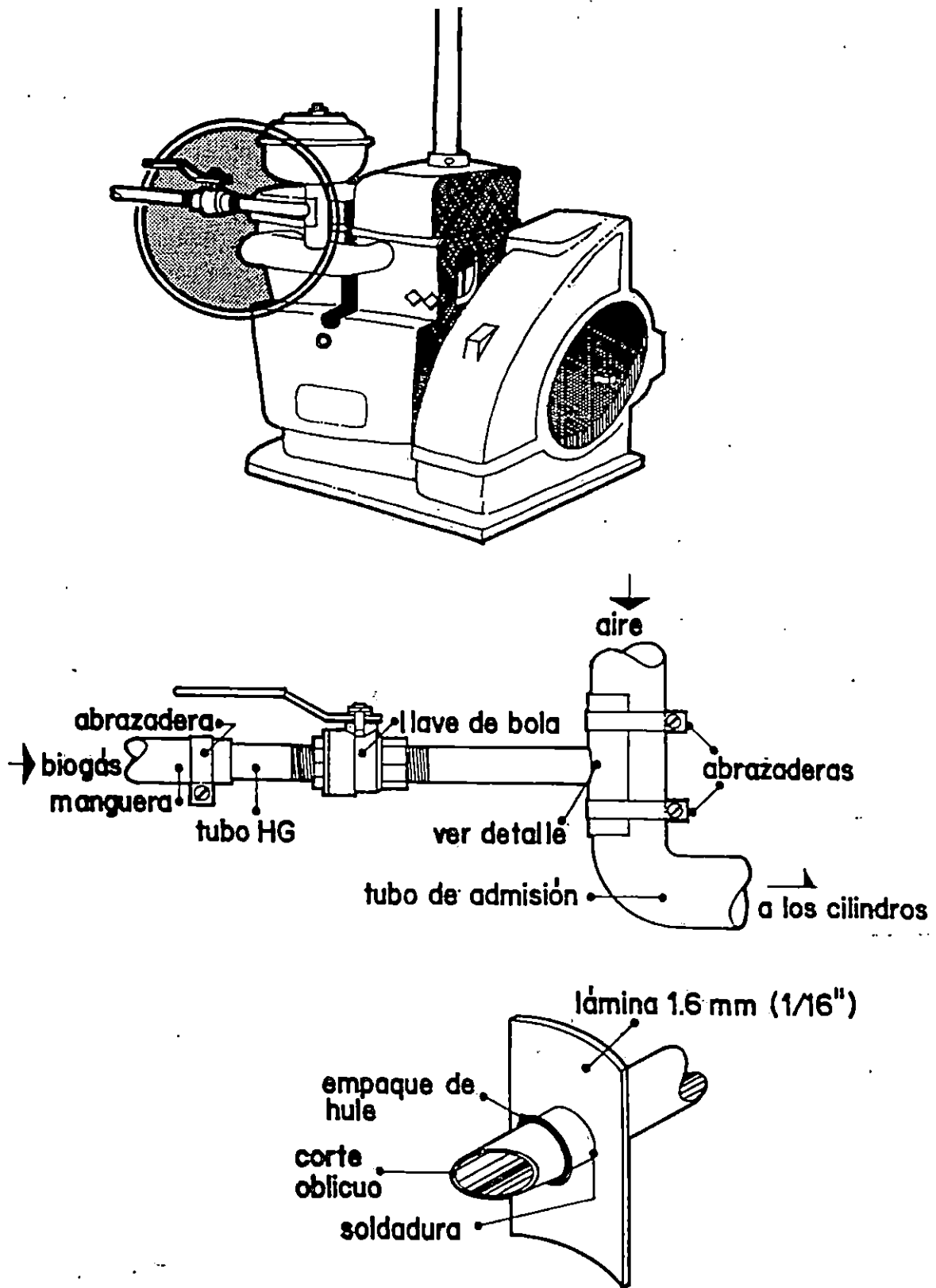


Figura 1.9 Motor de Diesel y biogás

#### 4.1.5 USO DEL BIOGAS PARA SATISFACER NECESIDADES DE LA FAMILIA RURAL.

En las familias rurales las aplicaciones y usos principales del biogas son para la producción de energía térmica para la cocción de alimentos y para generar energía para iluminación, para lo que se requiere un biodigestor que produzca 10 m<sup>3</sup> de biogas, por lo tanto es importante conocer los rendimientos de la materia prima para estos usos. En la tabla 1.10 se presenta la producción de estiércol y biogas para diferentes materias primas y su equivalente en kilocalorías y Kilowatt.

El consumo de biogas para iluminación en una familia para cuatro lámparas de camisa es de 0.4 m<sup>3</sup> (400 litros).

Mediante biogas se puede generar electricidad con una planta generadora que opere con gasolina o con diesel y realizando las adaptaciones anteriormente mencionadas en la sección 4.1.3. Para este fin es importante conocer los requerimientos de biogas para satisfacer la demanda de una familia en cuanto a energía eléctrica, por lo que tomando en cuenta que un grupo familiar de cinco miembros consume al mes aproximadamente 299 Kwatt-h (tabla 1.9), se necesitaran 7 m<sup>3</sup> de biogas al día (1m<sup>3</sup> de biogas equivale a 1.42 kwatt-h); a lo cual debe de sumársele el consumo de biogas para cocción de alimentos.

Tabla 1.9 Consumo de energía eléctrica de una familia  
(CAESS, 1999)

Consumo de energía eléctrica para un grupo familiar de cinco personas		
Aparato	Tiempo	Consumo (kwatt-h/mes)
6 focos 60 watts	4 horas/día	43
Plancha 1500 watts	6 horas/semana	36
Refrigeradora de 250 watts	Permanente	180
Televisor 250 watts	2 horas/ día	15
Radio, licuadora		20
Motor (1HP) 74.6 watts	2 horas/ día	5
Total		299

Tabla 1.10 : Energía producida por diversas materias primas (19).

Materia Prima	Desecho (kg/día)*	Producción biogas (m <sup>3</sup> /día)	Kcal/día**	Kwatt-hr/día***
Estiércol bovino	10	0.37	2010	0.5254
Estiércol porcino	2.3	0.15	800	0.213
Estiércol gallina	0.18	0.009	49	0.13
Excretas humanas	0.4	0.028	152	0.04

\* Materia prima recolectable en peso fresco por animal

\*\* Poder calórico aproximado del biogas 5,432 kcal/m<sup>3</sup>

\*\*\* 1 m<sup>3</sup> biogas genera 1.42 kwatt-hr.

#### 4.2 PRECAUCIONES QUE DEBEN ADOPTARSE AL USO DEL BIOGAS

Este gas cuando se usa correctamente, es mucho más seguro que cualquier otro que se emplee en actividades domésticas. Las pocas normas de seguridad que deberán seguirse cuando se use biogas son:

- a) Antes de encender una llama en cualquier aparato, comprobar que no existan fugas. Una mezcla de aire y biogas es explosiva si tiene una composición de 6 a 25 volúmenes de aire por volumen de biogas y si se pone en contacto con una chispa o una llama, el indicio de que hay fuga es el olor característico a biogas (huevo podrido); en un caso así, evitar producir chispas, no encender fuego ni fumar, hasta que se haya ventilado el lugar y que todo el olor haya desaparecido.
- b) Antes de conectar nuevas tuberías, bolsas de almacenamiento y otros recipientes de biogas, tener cuidado de drenar el aire que pueda haber quedado en ellos, para evitar que se produzcan mezclas de aire y gas que resulten explosivas.
- c) Antes de usar el gas, comprobar si hay suficiente para el uso que se desea darle; para eso verificar el contenido de gas en la bolsa de almacenamiento, o medir con un manómetro la presión que hay dentro del digestor.



- d) En los lugares donde se utilice el biogas a presiones altas (más de  $1.05 \text{ Kg/cm}^2$  -  $15 \text{ lb/plg}^2$ ), es aconsejable tener extintores para fuego, los cuales deberán ser de tipo universal ABC.
- e) Siempre que se esté usando el biogas, tener cuidado al cargar el digestor porque pueden ocurrir alzas súbitas de presión en el gas (con aumento en el tamaño de la llama); y si lo que se hace es descargar el digestor, tener presente que pueden ocurrir descensos de presión y hasta presiones negativas, lo que puede causar que los aparatos se apaguen o, aun peor, que se produzca succión de aire hacia el interior del digestor (15).

## 5.0 BIOABONO

Bioabono se denomina al efluente semisólido proveniente de un biodigestor, y es apropiado para fertilizar tierras de cultivo.

Durante la descomposición anaerobia se transforma entre el 20% y el 50% de la materia orgánica colocada en el biodigestor, aunque esta cifra puede variar dependiendo de la cantidad de materia no digerible que contenga la materia prima. La estabilidad biológica del efluente es evidente por el hecho que no existen malos olores ni atracción de moscas (15).

El efluente de los digestores es uno de los productos finales de la fermentación anaerobia y, aunque proviene de los desechos orgánicos con que se alimenta el digestor, tiene características completamente distintas a las de esos desechos; por ejemplo: no tienen olor desagradable, su relación carbono-nitrógeno es menor, y no tiene condiciones que permitan la proliferación de organismos patógenos, ni de moscas u otros insectos indeseables. Su composición química también ha mejorado, ya que conserva la misma cantidad de micronutrientes y macronutrientes que el material cargado al digestor, pero con cambios químicos que los hacen más estables ante las inclemencias del ambiente y más fáciles de asimilar por las plantas (15).

Aunque el propósito usual de un digestor es la producción de biogas, en muchos casos es más importante el aprovechamiento del efluente como abono

("Bioabono"), y hasta puede resultar que los beneficios económicos obtenidos con éste, sean más importantes que los que se logran con el uso de biogas.

### **5.1 COMPOSICION DEL BIOABONO**

El efluente de los digestores entra en la categoría de abono orgánico de buena calidad; su apariencia negra y viscosa puede dar la idea de que no es un producto bueno para las plantas, pero la realidad es todo lo contrario; es totalmente inofensivo para ellas y les da vigor y potencia (15).

En lo que respecta a la forma de aplicarlo y la manera en que acondicionan el suelo y mejoran los cultivos, no hay diferencia entre el bioabono y cualquier otro abono orgánico conocido. La composición media del bioabono para sustrato de estiércol bovino se muestra en la Tabla 1.11.

La relación carbono nitrógeno que posee el bioabono es la óptima 10:1 para la aplicación directa en el terreno, sin que exista el riesgo de que los microorganismos que llevan a cabo la degradación final en el suelo compitan por el nitrógeno con las plantas que crecen en él.

### **5.2 EFECTO DEL BIOABONO SOBRE LOS SUELOS**

La materia orgánica añadida al suelo, como abono, tiende a producir cambios físicos y químicos en él; estos cambios generalmente son beneficiosos, aunque su tipo e importancia dependerán de la cantidad y calidad de materia orgánica agregada.

Tabla 1.11 Composición del bioabono a partir de estiércol bovino (ICAITI,1985).

COMPOSICION DEL BIOABONO	
Sólidos totales	6.5 %
Humedad	93.5 %
<b>Contenido de nutrientes base seca</b>	
Nitrógeno	2.6 %
Fósforo	1.5 %
Potasio	1.0 %
Otros microelemento	1.4 %

Los cambios químicos que provoca en un suelo la materia orgánica en general, y el bioabono en particular son:

1. Aumenta la capacidad de intercambio catiónico
2. Causa un efecto tampón (buffer) en el pH del suelo
3. Aporta macronutrientes y micronutrientes para el consumo de las plantas (15).

Los cambios físicos que la materia orgánica y por consiguiente, el bioabono; provoca en el suelo al ser añadida en él, son:

1. En suelos arenosos, favorece la adherencia de partículas, lo que origina una estructura granular que facilita la labranza, la aireación y el movimiento del agua.
2. En suelos muy pesados se mezcla con las arcillas para producir suelos porosos y bien drenados.
3. Disminuye las pérdidas del suelo por erosión (causada principalmente por la acción del agua y el viento).
4. Evita la pérdida por lixiviación de nutrientes minerales.
5. Cambia el color de la tierra a colores más oscuros que absorben mayor cantidad de energía radiante proveniente del sol (15).

### 5.3 EXPERIENCIAS OBTENIDAS CON DIVERSOS CULTIVOS

Se cuenta con muy poca información concreta sobre el valor fertilizante del efluente de los biodigestores. En una comparación hecha en Taiwan, se notó que la producción de semillas de maíz y sorgo se incrementó en 1.1% y 17.2% respectivamente con el uso de efluente en lugar de fertilizante químico (tabla 1.12).

El ICAITI y otras Instituciones realizaron algunos estudios sobre la aplicación de bioabono a suelos cultivados: con grama Napier, grama común, kikuyu, alfalfa, acelga, lechuga, arroz, tomate, cebolla, rábano, zanahoria y especies forestales. Estos estudios permitieron elegir métodos que dieran mejores resultados con las diferentes especies.

**Tabla 1.12 Comparación de producción de semillas utilizando el efluente como fertilizante y un fertilizante químico.**

TRATAMIENTO	Producción de semillas de maíz.	Producción semillas de sorgo.
Fertilizante químico	4,490	2,893
480 Ton/efluente	4,539	3,495

La dosis de bioabono puede distribuirse en varias aplicaciones; la primera durante la pre-siembra, y las siguientes, durante las labores de limpieza y aporque.

En nuestro país también se realizaron algunas experiencias con el bioabono, el CENTA trabajó en la década de los 80 con el efluente producido en la digestión anaerobia del estiércol bovino con el propósito de mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo. Los resultados de estos estudios fueron significativamente positivos en cuanto se observó un aumento lineal en la materia vegetativa fresca (tabla 1.13) en tres tipos diferentes de textura de suelo (arenosa, franca y arcillosa) a nivel invernadero y aplicando diferentes dosis de efluentes, en este estudio se utilizó el maíz (*zea mays* L.) como planta indicadora (7).

**Tabla 1.13 Peso promedio de materia vegetativa fresca por tipo de suelo (Flores, 1985)**

Tratamiento		Peso fresco promedio (g)		
*Cm <sup>3</sup> de efluente/maceta	Equivalentes en m <sup>3</sup> /Ha	Arcilloso	Franco	Arenoso
0.0	0.0	5.00	14.17	8.56
1.6	3.2	5.20	14.67	8.83
1.9	3.8	5.27	15.63	8.63
2.4	4.8	5.90	17.13	8.93
3.1	6.3	5.43	17.03	9.37
4.5	9.1	6.47	19.43	8.87
8.3	16.7	7.30	21.33	9.10
16.7	23.3	7.60	10.13	9.93
25.0	50.5	9.53	20.53	10.63
50.0	100	10.97	26.03	11.77

\*Se utilizaron macetas de 1lt de suelo, en invernadero

#### 5.4 COMPARACIÓN DEL BIOABONO Y EL FERTILIZANTE QUIMICO

**Tabla 1.14 Comparación entre fertilizante químico y efluente**

("Diseño y Construcción de Biodigestores", Cartago, 1985)

Fertilizante químico	Efluente (Bioabono)
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gran velocidad de absorción de nutrientes por la planta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La planta absorbe nutrientes más lentamente.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Los nutrientes no se acumulan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Efecto acumulativo de los nutrientes</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contaminación ambiental por la lixiviación excesiva de nutrientes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mínima contaminación</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alto costo económico y social por dependencia de otros países de los que se importan los fertilizantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Beneficio económico y social al no depender de otros países.</li> </ul>

El costo del fertilizante obtenido del biodigestor debe calcularse en base a los costos iniciales de construcción del biodigestor y al mantenimiento posterior que debe darse a éste. Otros factores que inciden en los costos son condiciones de almacenamiento del efluente y el equipo designado para la aplicación.

Cuando se comparan ambos fertilizantes, es importante considerar aspectos como la velocidad en que son absorbidos por la planta, el efecto acumulativo de los nutrientes, la manera como afectan el ambiente, el efecto económico y social para los países en vías de desarrollo, en la tabla 1.14 se presentan algunas comparaciones entre los dos tipos de fertilizantes (10).

## 6.0 DIGESTORES ANAEROBIOS

Los diferentes tipos de digestores para la producción anaeróbica de metano pueden ser agrupados de distintas maneras según su diseño, operación y aplicación.

Hay que tomar en cuenta que han existido desarrollos independientes en el diseño de biodigestores anaeróbicos; uno en países industrializados, para el tratamiento de lodos activados, con el objeto principal de reducir la contaminación de efluentes líquidos y el otro para aplicarles en países en vías de desarrollo como el nuestro, orientado al tratamiento de excrementos humanos (en mínima escala) y animales en el cual el principal objetivo ha sido la obtención de energía para usos en cocción de alimentos, alumbrado, etc. Esto hace que no exista una clasificación tan definida de los digestores y sus aplicaciones a una metodología operativa bien establecida.

Los biodigestores son en sí un reactor químico y por lo tanto su clasificación puede hacerse en base a su régimen de operación. Los mismos pueden operarse por su forma de carga y descarga en a) continua, b) semicontinua y c) batch (14).

El digestor puede ser: de mezcla perfecta, sin mezcla en dirección axial o lo que es mas frecuente un sistema combinado (14).

Por su productividad en: digestores de baja productividad y alta productividad.

Según su actividad microbiológica: digestores de una sola etapa, digestores de dos etapas y digestores de múltiples etapas (14).

### 6.1 DESCRIPCION GENERAL DE UNA PLANTA DE BIOGAS.

Una planta de biogas consiste básicamente en un tanque o recipiente llamado digestor o biodigestor, donde ocurre la fermentación, una pileta de carga, una pileta de descarga y un sistema de conducción y contenedor hermético que tiene como función almacenar el gas producido.

El digestor es un tanque cerrado, que puede construirse bajo la tierra o al nivel de ésta. Por un extremo está conectado, mediante un tubo a una pileta de carga; y por el otro, está conectado directamente con la pileta de descarga. En la parte

superior (cubierta), el digester tiene conectada una tubería de metal, por la cual fluye el biogas hacia el tanque de almacenamiento o directamente donde se utilizará.

Si el digester se llena con una mezcla preparada con desechos animales (estiércol generalmente) o desechos vegetales, mezclados con agua, y esa mezcla se deja un tiempo adecuado dentro del tanque o digester, se produce una fermentación de los materiales que la forman. Esta fermentación produce el biogas y un residuo o efluente que se conoce como bioabono.

La pileta de carga sirve para depositar y homogeneizar en ella la mezcla con que se alimenta el digester. Esta pileta por lo general es pequeña y de poca profundidad. La mezcla ya homogeneizada se deja reposar durante unos minutos para sedimentar piedras y tierras que pudieran llevar los materiales utilizados como sustrato, con el fin de evitar que ingresen al digester, ya que con el tiempo se pueden producir estancamientos.

Por la pileta de descarga se retira la mezcla ya usada que sale del digester (efluente).

La operación de la planta se inicia con la primera carga del digester, mediante la cual se llena hasta el nivel de operación; esta primera carga debe permanecer durante varios días en el interior, hasta comprobar la producción de biogas. Cuando esto ocurre se inicia la carga diaria.

Para que la planta produzca gas constantemente, y para que no surjan problemas de operación, es necesario alimentar el digester todos los días con un poco de mezcla ("carga diaria"), esta carga se introduce por la pileta de carga.

## **6.2 CARACTERISTICAS**

Un digester funciona eficientemente si reúne las siguientes características:

- a) Deberá ser hermético, con el fin de evitar fugas de biogas y además evitar la entrada de aire, la cual interfiere con el proceso.
- b) Deberá estar herméticamente aislado, con el objeto de evitar cambios bruscos de temperatura, esto se consigue construyéndolo con un buen aislante térmico o enterrándolos.



- c) Debe tener un sistema adecuado de carga descarga y descarga.
- d) Debe tener acceso para mantenimiento.
- e) Debe constar con un medio para determinar el nivel de mezcla (14).

### 6.3 LOCALIZACION

El digestor se debe localizar en un sitio donde la materia prima sea accesible, así como el agua que se necesita para efectuar la carga diaria.

El digestor debe estar lo mas cerca posible del lugar donde se hará uso del biogas y con acceso a los lugares donde se almacena o use el bioabiono o efluente. La topografía del terreno así como sus características, influyen en el diseño del digestor.

El nivel del manto de agua del terreno puede obligar a la utilización de cierto tipo de planta o cambiar la ubicación. Desde el punto de vista meteorológico deberá buscarse un sitio al abrigo del viento de preferencia un lugar soleado (14).

### 6.4 ALIMENTACION

**Fermentación continua:** la fermentación del digestor es un proceso ininterumpido. Una vez inicia la digestión normal y la producción del biogas, después de cierto período a partir de la carga inicial, se agregan materiales continuamente al digestor todos los días (o cada hora), y el efluente se descarga en forma simultánea en la misma cantidad en que entra el material. El proceso se caracteriza por una producción uniforme de gas y facilidad de control.

**Fermentación semicontinua:** la primera carga consta de una gran cantidad de materiales. Al disminuir gradualmente el rendimiento del gas, se agregan más materias primas y se descarga el efluente regularmente en la misma cantidad.

**Fermentación por lotes:** los digestores se cargan con material en un solo lote. Cuando el rendimiento de gas decae a un bajo nivel después de un período de

fermentación, se vacían los digestores por completo y se alimentan una vez más.

## 6.5 PROBLEMAS COMUNES DE OPERACIÓN EN LOS BIODIGESTORES.

A continuación se presenta un cuadro que incluye los problema comunes que se presentan durante la operación de un biodigestor, síntomas, la causa por la que se ha generado el problema y la solución a ese problema.

**Tabla 1.15 Problemas comunes de operación en los digestores (ICAITI 1983).**

PROBLEMAS	SINTOMAS	POSIBLES CAUSAS	SOLUCIONES
1. Acidez	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Descenso de pH</li> <li>▪ Baja producción de biogas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Exceso de carga</li> <li>▪ Sustrato ácido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ agregar agua de cal en pequeñas cantidades a la carga</li> <li>▪ Suspender la carga varios días hasta normalización del pH</li> </ul>
2. Baja producción de biogas		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Acidez</li> <li>▪ Baja temperatura</li> <li>▪ Reducida cantidad de bacterias</li> <li>▪ Fugas</li> <li>▪ Antibiótico en estiércol</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Neutralización de la acidez</li> <li>▪ Colocar invernadero sobre el digestor</li> <li>▪ Inocular con material de otro digestor</li> <li>▪ Recirculación de efluentes al digestor</li> <li>▪ Revisión de tuberías y deposito de gas.</li> <li>▪ Reparar averías.</li> <li>▪ Suspender carga por 4 – 5 días.</li> </ul>
3. Mal olor y moscas en efluente		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Poca degradación del material orgánico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aumentar tiempo de retención</li> <li>▪ Elevar temperatura en digestor con invernadero o con cargas precalentadas</li> </ul>
4. Formación de costra		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Falta de agitación</li> <li>▪ Exceso de sólidos en la carga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Usar dispositivos para romper costra diariamente</li> <li>▪ Aumentar la dilución de la carga diaria</li> <li>▪ Homogeneizar la mezcla de carga diaria.</li> </ul>

## 6.6 PRECAUCIONES QUE DEBEN ADOPTARSE AL USO DEL BIOGAS

Este gas cuando se usa correctamente, es mucho más seguro que cualquier otro que se emplee en actividades domésticas. Las pocas normas de seguridad que deberán seguirse cuando se use biogas son:

- a) Antes de encender una llama en cualquier aparato, comprobar que no existan fugas. Una mezcla de aire y biogas es explosiva si tiene una composición de 6 a 25 volúmenes de aire por volumen de biogas y si se pone en contacto con una chispa o una llama, el indicio de que hay fuga es el olor característico a biogas (huevo podrido); en un caso así, evitar producir chispas, no encender fuego ni fumar, hasta que se haya ventilado el lugar y que todo el olor haya desaparecido.
- b) Antes de conectar nuevas tuberías, bolsas de almacenamiento y otros recipientes de biogas, tener cuidado de drenar el aire que pueda haber quedado en ellos, para evitar que se produzcan mezclas de aire y gas que resulten explosivas.
- c) Antes de usar el gas, comprobar si hay suficiente para el uso que se desea darle; para eso verificar el contenido de gas en la bolsa de almacenamiento, o medir con un manómetro la presión que hay dentro del digester.
- d) En los lugares donde se utilice el biogas a presiones altas (más de 1.05 Kg/cm<sup>2</sup> - 15 lb/plg<sup>2</sup>), es aconsejable tener extintores para fuego, los cuales deberán ser de tipo universal ABC.
- e) Siempre que se esté usando el biogas, tener cuidado al cargar el digester porque pueden ocurrir alzas súbitas de presión en el gas (con aumento en el tamaño de la llama); y si lo que se hace es descargar el digester, tener presente que pueden ocurrir descensos de presión y hasta presiones negativas, lo que puede causar que los aparatos se apaguen o, aun peor, que se produzca succión de aire hacia el interior del digester (15).

## 6.7 LOS PRIMEROS DIGESTORES

La construcción de digestores dio sus primeros pasos en Alemania, alrededor del año 1934. El primer diseño se llamó **canal de fermentación** y su problema más importante fue la no circulación de materia (10).

Este problema fue superado en un diseño posterior realizado por Karl Imhoff, en el que se utiliza un sistema de discos oscilantes que desplazan horizontalmente la materia y rompen la nata que se forma en la parte superior del digestor. Esta mejora fue muy importante ya que la nata impide el paso de biogas hacia la parte superior del digestor (10). Al romperse la nata, se mezcla con la materia orgánica y cae hasta el fondo, constituyendo materia orgánica digerida. Este digestor fue construido bajo el nivel del suelo y realizaba la digestión en aproximadamente 35 días (10).

Otro tipo de digestor fue denominado **Sistema Berlín**. Este digestor fue construido sobre el nivel del suelo y el dispositivo utilizado para romper la nata era una malla que tiene su eje fijo en la parte central del digestor. De este tipo de digestores se construyeron hasta de 250 metros cúbicos (10).

El siguiente paso en el desarrollo de los biodigestores fue el modelo denominado **Sistema Munich**, también construido sobre el suelo. Este digestor se caracteriza por aceptar material muy espeso y lo diluye a un punto óptimo.

A partir del año 1964 se han desarrollado prototipos de digestores más simplificados. Los países que más han perfeccionado estos modelos son la China y la India (10).

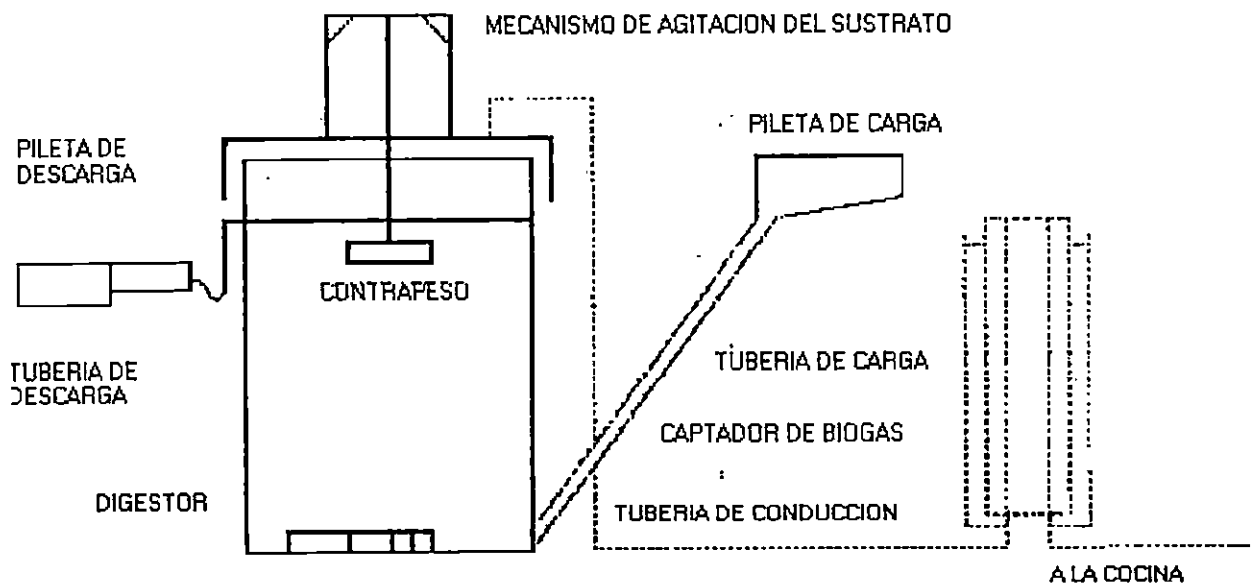
## 6.8 MODELOS DE DIGESTORES CONSTRUIDOS EN EL SALVADOR PARA USO DOMESTICO EN EL AREA RURAL

En El Salvador se construyeron varios tipos de biodigestores para uso doméstico, aclarando que se incluyen en el estudio aquellos con finalidad académica que sirvieron de base o modelo para el desarrollo de esta tecnología a nivel rural.

### 6.8.1 MODELOS HINDÚ MODIFICADO Y CONVENCIONAL

El digester modelo hindú modificado, consiste en un depósito de sección cuadrada para la digestión del estiércol sobre el cuál se instaló un mecanismo con poleas que permite la agitación del desecho (figura 1.10). Aclopada a la parte superior del depósito está una tapadera metálica para impedir la entrada de aire (7).

Cuenta con una pileta de carga que está conectada al depósito por medio de un tubo de diámetro medio. Esta pileta tiene una diferencia de altura de tres metros con respecto al fondo del depósito, lo que facilita la carga diaria por medio de la gravedad.



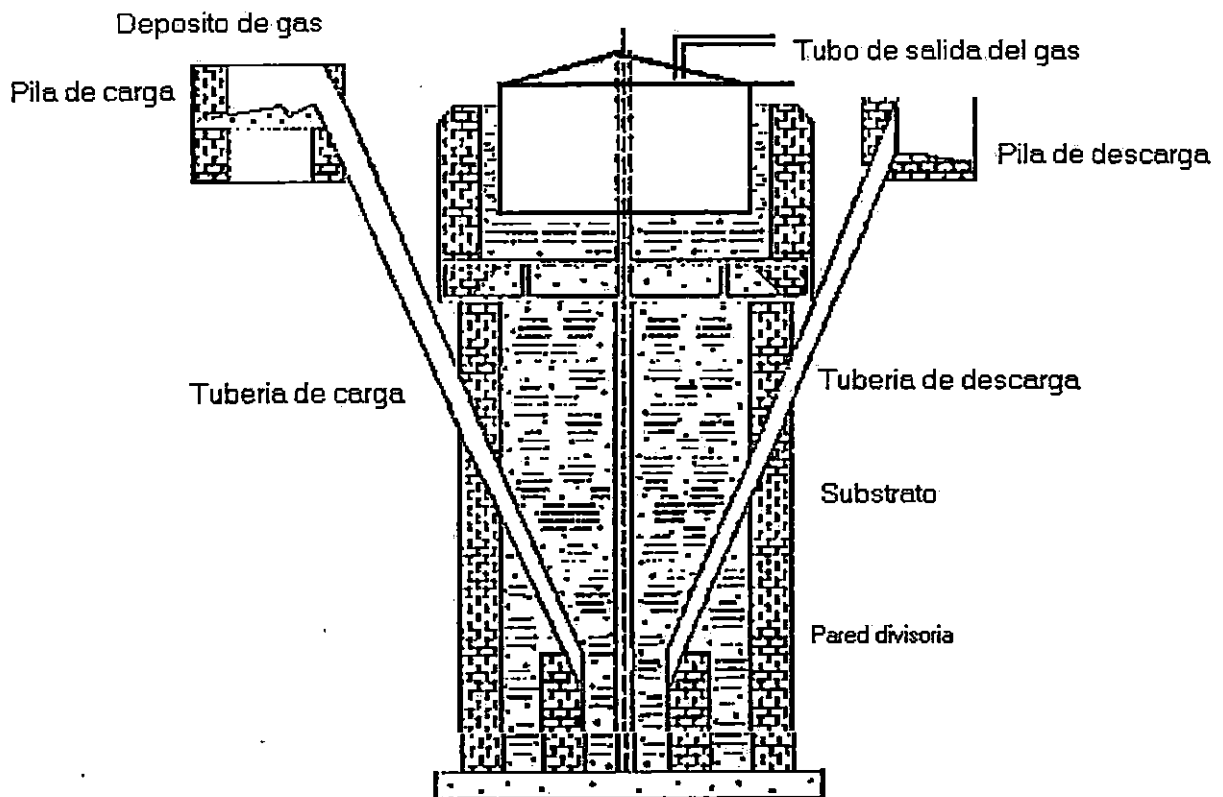
**Figura 1.10 Biodigestor modelo Hindú Modificado**

La descarga ocurre a lo largo de otro tubo de similar diámetro, que se encuentra sobre el nivel libre de la superficie del desecho. Al elevarse este nivel, debido al desplazamiento de volumen causado por la nueva carga del día, el desecho anteriormente digerido debe fluir hacia la pileta de descarga de donde puede ser recogido con mayor facilidad (7).

En la figura 1.11 se muestra el digester modelo hindú convencional, que a diferencia del anterior posee un depósito de digestión de base cilíndrica. Sobre este depósito se encuentra el captador de biogas que flota sobre el nivel libre del desecho en digestión. Una guía hecha de tubería metálica permite el ascenso o descenso de este captador en forma equilibrada.

Dentro del depósito de digestión (cámara de fermentación) se construye una pared vertical la cual no permite el desplazamiento del desecho aun proceso de digestión ya que las tuberías de carga y descarga están a un mismo nivel y en posición diametralmente opuesta (7).

Este modelo también cuenta con piletas de carga y descarga. La agitación del desecho se logra por medio de unas aspás colocadas en la estructura metálica del captador de gas.



**Figura 1.11 Biodigestor modelo Hindú Convencional**

### 6.8.2 MODELO FRY

Este digestor, es de forma alargada y cuenta con una cúpula hecha de concreto reforzado, el cual es descrito en la figura 1.12. Fue diseñado por John Fry en Africa del sur.

Las paredes del depósito de digestión son rectas y al piso es uniforme. En este modelo el desecho orgánico, se desplaza horizontalmente debido al empuje sufrido por la carga diaria, que luego de haberse digerido durante un periodo determinado, sale a lo largo de dos tubos colocado en el extremo opuesto al tubo de la pileta de carga (7).

Los tubos de salida están conectados a la pileta de descarga y está a su vez a los patios de secado de los efluentes.

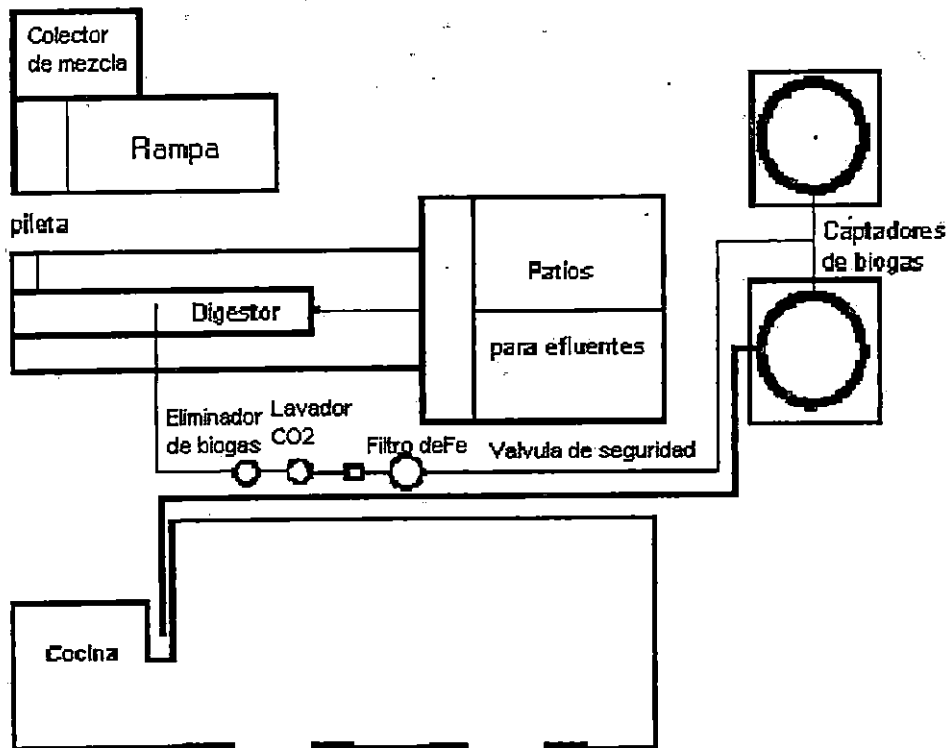


Figura 1.12 Biodigestor modelo FRY

La salida del biogas se realiza por la parte superior de la cúpula por medio de una tubería plástica, la cual está conectada a un sistema de purificación y a dos captadores metálicos.

El digestor cuenta además con un colector solar para precalentar la mezcla y un techo plástico para cubrir toda la estructura. Para la construcción se realiza una excavación en el suelo para que la cámara de fermentación este enterrada y aislada térmicamente. La cúpula es la única sección que sobresale del piso. Para evitar el excesivo calentamiento por los rayos solares, se construye una cama de madera para aislar la cúpula con rastrojos de sorgo o maíz (7).

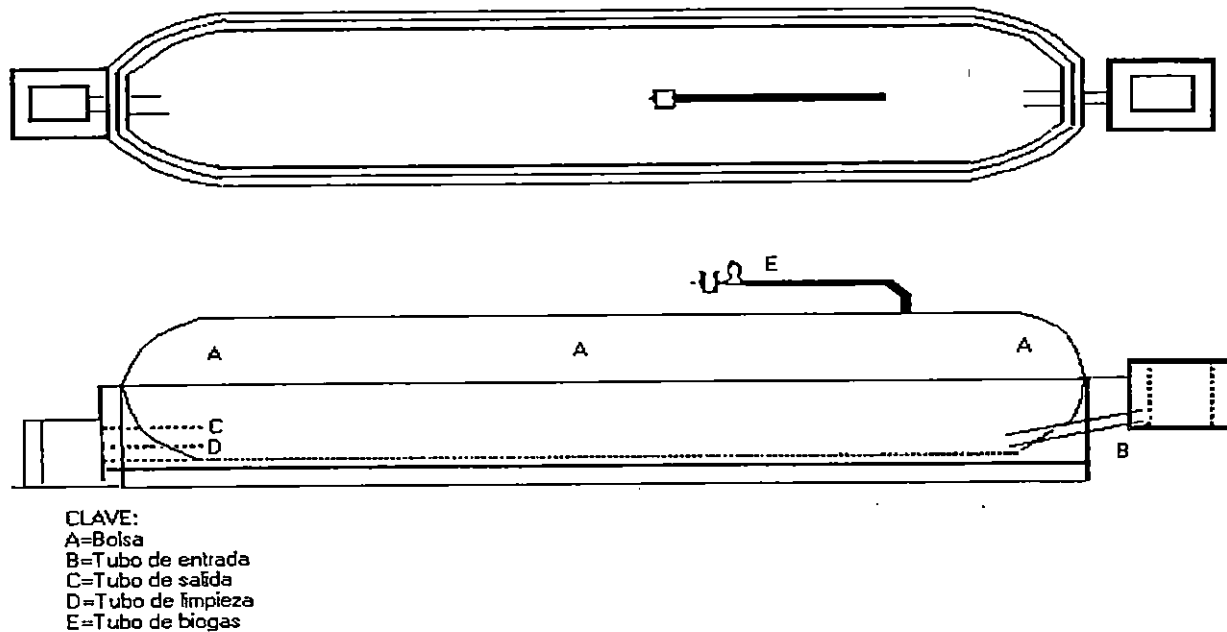
### 6.8.3 MODELO PLÁSTICO

Este digestor consiste en una bolsa plástica hecha de un polímero plástico, el cual se originó en Taiwan. La bolsa se ajusta a una cavidad de paredes rígidas en cuyos extremos se encuentran las piletas de carga y descarga. En la figura 1.13 se representa esquemáticamente este tipo de digestor.

La pileta de carga esta conectada a través de tuberías con un recolector de las aguas de desechos provenientes del lugar donde se encuentre el sustrato a utilizar. La pileta de descarga está conectada a una laguna de estabilización por medio de un canal de drenaje.

El gas producido sale por un tubo colocado en la parte superior de la bolsa. Sobre el digestor se construye una cúpula de película plástica transparente sostenida por una estructura de varillas de hierro y madera. El objetivo es aumentar la temperatura dentro de la bolsa, por medio del efecto invernadero. La capacidad total es de 50 m<sup>3</sup>, el mejor tiempo de retención es de 16 días con un porcentaje de carga de 0.8 Kg de sólidos volátiles por metro cubico de digestión, cuando el desecho de estiércol porcino (7).





**Figura 1.13 Biodigester modelo plástico.**

#### 6.8.4 MODELO DE MEDIA BOLSA PLÁSTICA CON SELLO DE AGUA

Este sistema puede ser construido a nivel del suelo o semienterrado, dependiendo de las características físicas del suelo (figura 1.14).

Consta de una pileta de carga y una de descarga, construidas de bloques y cemento y conectadas al biodigester por tuberías. La cámara donde se realiza la digestión también está construida de cemento y bloque, que en la parte superior tienen ganchos de hierro para enganchar el cobertor plástico o sea el espacio de almacenaje del gas. Sobre las paredes del digester se construye un canal de agua para evitar el escape del gas. Este canal debe estar bien revestido de cemento para que sea impermeable.

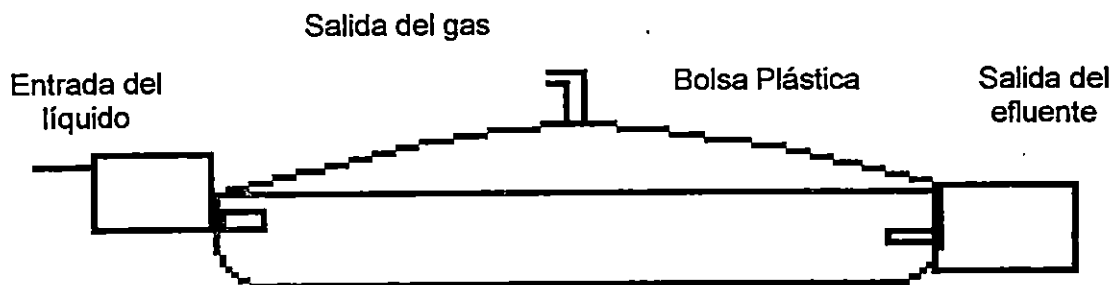
Estos biodigestores son semicontinuos: son cargados diariamente y eliminan un volumen igual de efluente. Lo que ocurre en ellos es un desplazamiento de

materia constante. La pileta de carga se construye a un nivel más alto que el digester de tal manera que al caer el material este produzca agitación dentro del biodigestor. Se recomienda que el tanque tenga una forma cuadrada (10).

La construcción del digester de tipo media bolsa con sello de agua se recomienda cuando el volumen del digester es mayor de 30 metros cúbicos.

Pueden señalarse como principales ventajas de este sistema las siguientes:

- Uso de materiales de construcción nacionales disponibles en todas las zonas (bloque, cemento, bloques de concreto, etc.).
- Construcción sencilla, sin problemas para el albañil.
- Fácil de instalar, no necesita de dispositivos extras.
- Fácil manejo.
- No hay problemas de formación de nata.
- La limpieza es sencilla.
- Se adapta fácilmente (10).



**Figura. 1.14 Biodigestor modelo de media bolsa plástica con sello de agua**

### 6.8.5 MODELO ICAITI

Consiste en cuatro partes: cámara de fermentación, pileta de carga, pozo de carga, pozo de descarga con pileta de compensación y sistemas de conducción y almacenaje de biogas (figura 1.15).

Se encuentra enterrado y está hecho de ladrillos de barro y cúpula de concreto reforzado. La pila de carga esta conectada a la cámara por medio de dos tubos de cemento. En el extremo cuenta con una cavidad conectada directamente con el pozo de carga para logra la salida del efluente y de los sólidos no convertidos a biogas. Sobre este pozo se encuentra un ensanchamiento (pileta de compensación) poco profundos para hacer mas cómoda la recolección y retiro del efluente, además sirve para compensar los cambios de nivel del contenido del digester. Sobre la cúpula de concreto esta conectado un tubo metálico de diámetro pequeño que a su vez está unido a una tubería plástica del mismo diámetro y es por donde fluye el gas hacia una bolsa de lona revestida de hule natural, la cual sirve como almacenaje (7).

Su forma alargado y posición horizontal permite que el desecho en digestión fluya por secciones (plug flow) hasta completar el tiempo de retención adecuado. Las paredes internas de la cámara de fermentación son oblicuas para reducir el empuje del suelo, mientras que el piso esta provisto de una pendiente del 10% para facilitar el flujo del desecho. La capacidad total del digester es de 15 m<sup>3</sup>, de estos 13.5 metros cúbicos son ocupados por la mezcla de material orgánico y agua (7).

Para lograr el agitado de la mezcla se le ha provisto de una paleta de madera, atada a un cable sintético, el cual es halado en forma manual.

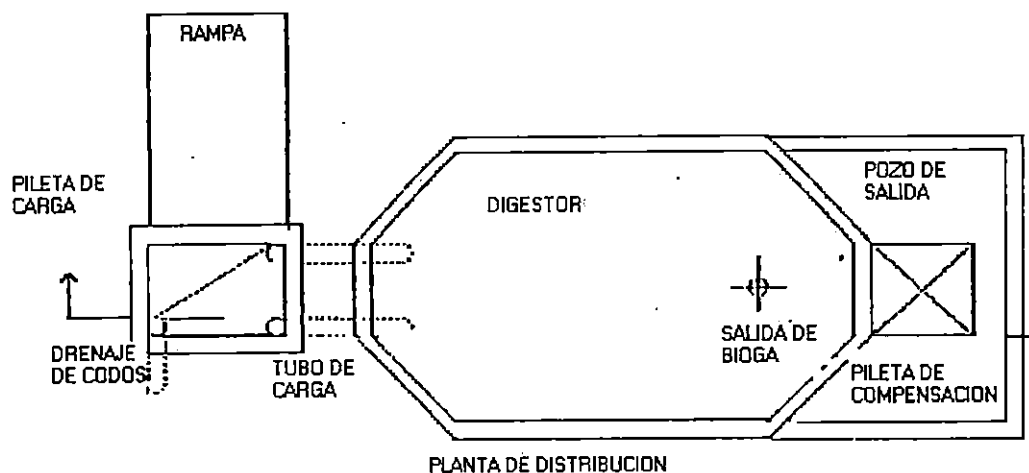
### 6.8.6 MODELO BETHANIA

Este digester descrito en la figura 1.16 difiere en varios aspectos de los demás conocidos, sin embargo se considera de tipo vertical de carga semicontinua. Sobre la pileta de carga se encuentran las letrinas de las que provienen las heces humanas.

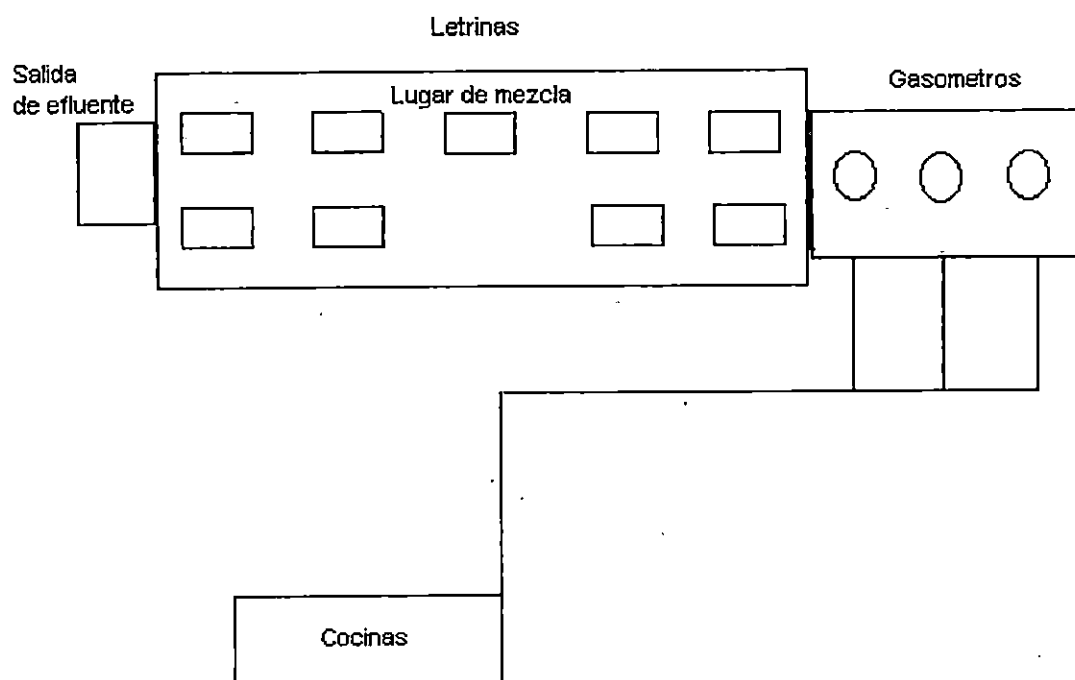
Para obtener una concentración adecuada de los sólidos entrantes posee una sección en donde se mezclan las heces con agua por medio de un mecanismo que cuenta con aspas metálicas en el extremo inferior.

Luego del mezclado se abre paso a la tubería de carga, por medio de una tapa metálica conectada a una varilla. El tubo de carga está conectado directamente a la cámara de fermentación en donde se encuentra una pared vertical que evita la salida del desecho en su trayecto hacia la pileta de descarga.

El biogas sale por la parte superior de la cámara hacia tres captadores metálicos por medio de tubería enterrada, y de estos hacia las cocinas también por tubería enterrada (7).



**Figura 1.15 Biodigestor modelo ICAITI.**



**Figura 1.16 Biodigestor modelo Bethania**

### 6.8.7 BIODIGESTOR CHINO

El digestor chino está compuesto de dos partes limitadas por la superficie del líquido de fermentación: la inferior es la cámara de fermentación y la superior es el depósito de biogas (figura 1.17). Cuando aumenta la producción de biogas en la cámara de fermentación, se eleva la densidad del gas al subir la presión. Cuando la presión sobre la superficie líquida de la cámara de fermentación es mayor que la de la pileta de salida, el material líquido se ve presionado hacia la pileta hasta lograr un equilibrio entre la presión interna y la externa. Cuando se utiliza el biogas, la presión en el digestor disminuye y el material líquido en la pileta de salida se devuelve al digestor para mantener un nuevo equilibrio. El biogas que se produce y se usa constantemente provoca subidas y bajadas de nivel del líquido dentro y fuera del digestor y por lo tanto la presión interna y externa siempre se mantienen en equilibrio. Este es el principio de operación del digestor chino.

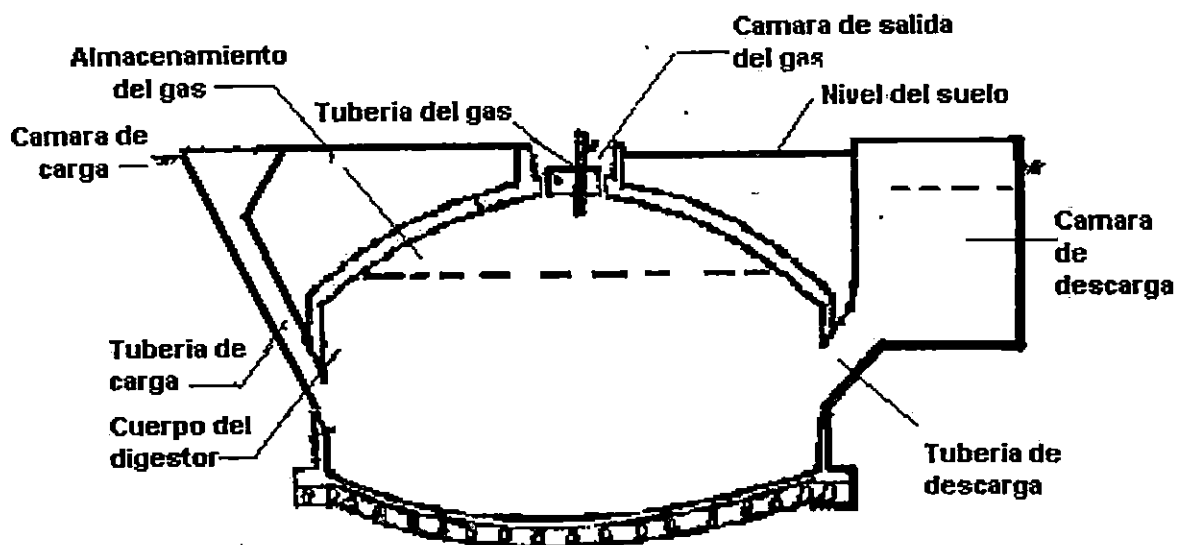


Figura 1.17 Biodigestor modelo chino

## **7.0 SITUACION ACTUAL DE LA TECNOLOGIA DE PRODUCCION DE BIOGAS EN EL SALVADOR Y EL MUNDO**

### **7.1 CONTEXTO MUNDIAL DE LA TECNOLOGIA DEL BIOGAS**

El desarrollo de la tecnología del biogas en el mundo gira alrededor de tres direcciones o aplicaciones:

1. Aplicación en el área rural para obtener energía (biogas) y fertilizante orgánico (bioabono).
2. Tratamiento de desechos agro-industriales para disminuir la contaminación al medio ambiente y para generar energía.
3. Tratamiento de desechos urbanos en el que se incluye aguas negras y desechos sólidos, también para generar descontaminación y generación de energía.

En torno a estas aplicaciones a habido avances técnicos, diferentes procesos y modelos de digestores se están aplicando e investigando.

#### **7.1.1 Digestores para familias rurales**

Este es un sector donde la tecnología del biogas a tenido una mayor aplicación en Latinoamérica. El número de digestores construidos en América Latina a principios de la década de los 90 era de 9,940 (17), la mayoría de estos era para una sola familia. En Asia se tiene el mayor número de digestores rurales alrededor de seis millones de los cuales el 99.8 % pertenecen a la India y China. En la tabla 1.16 se presenta el número de biodigestores con aplicación en el área rural en el mundo.

La principal materia prima utilizada en el sector rural es estiércol animal (bovino, porcino y gallinaza), excretas humanas y en algunos casos residuos agrícolas.

**Tabla 1.16 Desarrollo de digestores rurales en el mundo (17)**

Región		N° de digestores (10 <sup>3</sup> )
Asia	China	4700
	India	1200
	otros	100
América Latina		9.440
Africa		1.060

### 7.1.2 Agroindustria

Alrededor de 25 tipos de desechos generados por la agroindustria (cervecera, caña de azúcar, café, carne, harina, desechos de procesos de frutas y verduras, etc.) pueden ser tratados por digestión anaerobia con producción de biogas. Entre los residuos más investigados están las vinazas y los desechos provenientes del beneficiado del café (en el país se realizaron investigaciones en PROCAFE), pero de estos no hay mucha información sobre su aplicación a gran escala, aunque actualmente en Costa Rica en el beneficio San Juanillo se ha implementado la digestión anaerobia con producción de biogas y en nuestro país existe un proyecto para aprovechar los desechos de esta agroindustria el cual está siendo promovido por la organización Red de Biomasa para Centro América (BUN \_ CA) la cual es una organización no gubernamental cuya misión es contribuir al desarrollo y fortalecimiento de las capacidades nacionales en América Central, para aumentar la producción interna y el uso sostenible de los recursos naturales locales, como medio para lograr el desarrollo económico y bienestar social de sus habitantes, especialmente en las áreas rurales.

En el sector agroindustrial se tienen digestores que están siendo comercializados a gran escala utilizados en 11 procesos en donde 9 son considerados de alto rango.

El filtro anaerobio (AF), el de contacto anaerobio, el Plug Flow y el convencional Batch o semi-continuo, son procesos que se cree pueden ser utilizados a gran escala, actualmente se reportan cerca de dieciocho suministradores de esta tecnología en Brasil, cinco de las cuales tienen licencia para utilizar tecnología de



Europa; lo que representa que pueda haber una mayor aplicación en este campo en América Latina. El biogas producido puede ser utilizado como sustituto del diesel, para generación de vapor y para generación de electricidad. El efluente líquido y el residuo sólido de la fermentación anaerobia es utilizado como fertilizante, y en algunos casos como alimento para animales.

### **7.1.3 Tratamiento de desechos municipales**

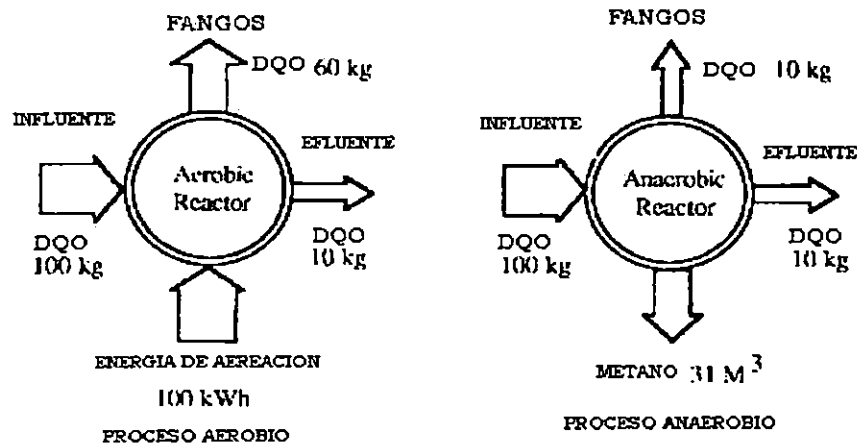
Los desechos municipales incluyen dos áreas a estudiar las aguas negras y los rellenos sanitarios para el tratamiento de la basura, los cuales son fuente potencial para la producción de biogas a partir de la digestión anaerobia.

#### **➤ Tratamiento de aguas negras**

La urbanización en muchos países del mundo y sobre todo en Latinoamérica ha traído como consecuencia la generación de más y más desechos urbanos, los que son de dos tipos: aguas negras y desechos sólidos (basura). Desde la década de los setenta se ha estudiado la fermentación anaerobia con producción de biogas como una opción técnica para el tratamiento de desechos urbanos.

Al inicio de la década de los noventa existía una aproximado de treinta y dos proyectos relacionados con el tratamiento de aguas negras en Latinoamérica en países como Brasil, Colombia, Cuba, Argentina, Puerto Rico y Venezuela.

El tratamiento anaerobio para aguas negras ofrece dos ventajas con respecto al tratamiento aeróbico, primero se produce gas metano que es una útil fuente de energía y no demanda energía en su proceso, por el contrario el tratamiento aeróbico requiere energía para la aireación. Otra ventaja en la digestión anaerobia es que se reduce la carga orgánica del efluente, de este modo los costos asociados con la disposición de lodos que resultan del tratamiento biológico anaerobico están siendo grandemente reducidos, en la figura 1.18 se observa la cantidad de energía en kwh utilizada para llevar a cabo el proceso aerobico, y la cantidad de metano generada en el anaerobio.



**Figura 1.18** Comparación entre el balance de energía y demanda química de oxígeno de procesos aerobio y anaerobio para el tratamiento de aguas negras.

### ➤ Tratamiento de desechos sólidos en rellenos sanitarios

Un sistema colector de gas incorporado a un relleno sanitario, es considerado como un enorme digestor anaerobio donde se produce biogas, que luego es transportado por medio de tuberías como el gas natural para ser consumido. Los usos potenciales de este biogas son para la generación de energía eléctrica, combustible para autos, cocinas domesticas, etc. En la tabla 1.17 se presenta el aprovechamiento del biogas proveniente de rellenos sanitarios en el mundo.

Entre los beneficio del aprovechamiento del biogas de los rellenos sanitarios están:

- Disminución de los costos de operación de los rellenos
- Reducción de la importación de derivados del petróleo
- Mejora las condiciones ambientales
- Disminución de los gastos en combustible de los habitantes al utilizar el biogas en la ciudad.

**Tabla 1.17 Aprovechamiento del biogas proveniente de lo rellenos sanitarios (17).**

Región	N° Plantas	Cantidad de gas extraído ( $10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ )	Equivalente en petróleo ( $10^3 \text{ ton/año}$ )
América del Norte	253	4326	2012
Comunidad Europea	175	775	356
Otras ciudades de Europa	32	70.5	32.9
América Latina*	10	-	-
Asia**	4	-	-
Africa	4	-	-
<b>Total</b>	<b>481</b>	<b>5152</b>	<b>2401</b>

\* De las cuales cinco están operando (una en Chile y cuatro en Brasil) y las otras cinco están a nivel de diseño (una en Colombia y cuatro en Brasil).

\*\* Tres en la India y una en Hong Kong.

## 7.2 SITUACION ACTUAL DE LOS BIODIGESTORES EN EL SALVADOR

Uno de los problemas que enfrenta el país y en particular los sectores rurales es el alto costo de los combustibles, el costo creciente de los fertilizantes y los elevados niveles de contaminación del medio ambiente.

Esto ha incentivado la búsqueda de soluciones, prestando esencial atención a las posibilidades que puede brindar la fermentación anaerobia.

Desde hace varias décadas los países en vías de desarrollo han incentivado esta tecnología a nivel del pequeño agricultor; nuestro país no ha escapado a estas iniciativas ya que a finales de la década de los setenta e inicios de los ochenta, hubo una serie de intentos por implementar esta tecnología, construyendo diversos tipos de biodigestores en diferentes sitios de El Salvador. La mayoría de estos biodigestores tenían como función principal sustituir la leña empleada en la preparación de alimentos en el área rural contribuyendo así a proteger el medio ambiente que en las actualidad se encuentra deteriorado y otros fueron construidos con fines demostrativos, como los de la Escuela Nacional de Agricultura y el campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad de El Salvador; los

cuales se incluyen en este trabajo por su aporte al desarrollo de la tecnología del biogas.

Para determinar el estado actual de la tecnología del biogas en el Salvador se realizó un sondeo a los biodigestores que fueron construidos desde hace aproximadamente quince años, encontrando que todos dejaron de funcionar, sin embargo, las estructuras todavía permanecen en el lugar de construcción.

Nuevas iniciativas han permitido que la tecnología del biogas a partir de 1998 resurja en diversas áreas rurales de nuestro país favoreciendo a familias las cuales podrán contar con los beneficios que el biogas proporciona. Esto por medio de financiamientos otorgados por Fundaciones y con apoyo técnico de consultores que promueven el desarrollo comunal. Es así como en los últimos dos años se han llevado a cabo dos proyectos uno en Suchitoto departamento de la Paz y otro en San Miguel y Morazán. En la tabla 1.18 se presentan los sectores en los cuales puede aplicarse la tecnología de producción del biogas y su desarrollo, pudiéndose observar que la tecnología ha tenido mayor presencia en familias rurales, a pesar que el país cuenta con sectores (agroindustria, industria, municipalidades, cooperativas etc.) los cuales poseen un alto potencial de producción de biogas.

**Tabla 1.18 Estado actual de la tecnología de producción de biogas en El Salvador**

Sectores	Digestores en desuso	Digestores en funcionamiento	Digestores en construcción	Digestores en proyectos	Uso
Industria	-	-	-		-
Agroindustria	-	-		1*	Energía eléctrica
Familia rural	4	5	18		Cocina alumbrado
Cooperativa	1	-	-		Cocina
Municipalidades	-	-	-	1**	-
Investigación	7	-	-		Experimental demostrativo

\* Proyecto de pre factibilidad en beneficio de café utilizando la digestión anaerobia para producción de biogas

Fuente: Entrevista con Ing. Ana María González representante de BUNCA en El Salvador.

\*\* Proyecto de aprovechamiento de los gases del relleno sanitario de Nejapa.

Fuente : entrevista con el Sr. Rene Canjura alcalde de Nejapa.

### 7.3 UBICACIÓN GEOGRAFICA Y ESTADO DE LOS DIGESTORES ANAEROBICOS RURALES DOMESTICOS EN EL SALVADOR.

En la tabla 1.19 se presenta el número, ubicación por departamentos y tipos de los digestores anaerobios construidos entre los años de 1979-2000, la mayoría de los cuales eran de tipo ICAITI e Hindú.

Para lograr una mejor comprensión de la situación actual de los biodigestores rurales domésticos en El Salvador se describirá a continuación su estado operativo. Esta descripción se basa en las observaciones realizadas en las visitas de campo y en algunas entrevistas sostenidas con personas relacionadas con los biodigestores.

En abril del 2000, de los treinta y cinco construidos, sólo cinco se encontraban operando normalmente, dieciocho se encuentran en la etapa final de construcción y los doce no se encuentran operando. En la figura 1.19 se presenta la ubicación geográfica del los biodigestores.

**Tabla 1.19 Ubicación de los digestores anaeróbicos en El Salvador.**

Estado	Nº Digestores	Tipo	Localidad	Departamento
BIODIGESTORES EN DESUSO	1	FRY	Chinamas	Ahuachapán
	1	ICAITI	San Isidro	Cabañas
	1	HINDU	San Luis Talpa (Campo experimental UES)	La Libertad
	1	ICAITI		
	1	BARRIL		
	1	HINDU* ICAITI	ENA	Santa Ana
	3			
	1	HINDU*	Metapán	Santa Ana
1	ICAITI	Orcoyo	La Libertad	
1	HINDU**	Zaragoza	La libertad	
BIODIGESTORES EN CONSTRUCCION	13	BOLSA MEDIA BOLSA	San Jacinto	San Miguel
	5	BOLSA MEDIA BOLSA	San Bartolo	Morazán
BIODIGESTORES EN USO	5	BARRIL	Suchitoto	Cuscatlan

\*Hindú convencional

\*\*Hindú modificado

### **7.3.1 DIGESTOR OPERANDO NORMALMENTE**

Los digestores operando normalmente son cinco, ubicados en el cantón las Delicias, entre Aguilares y Suchitoto. Estos biodigestores fueron construidos con el financiamiento del Fondo Iniciativa para las Américas El Salvador (FIAES) y ejecutado por el Comité de Reconstrucción y Desarrollo Económico y Social de las Comunidades de Suchitoto (CRC). Los beneficiarios de este proyecto son cinco familias las cuales tiene un promedio de cinco miembros, y a las que los biodigestores les proveen una hora con cuarenticinco minutos diarios de biogas para la cocción de los alimentos.

Estos biodigestores están construidos de barriles de metal unidos con soldadura autógena, y el gas es conducido a las cocinas por medio de tuberías PVC (Anexos A.1 y A.2). Las familias se sienten satisfechas con los resultados obtenidos con el uso del biogas.

**Tabla 1.20 Ubicación de los digestores anaeróbicos en El Salvador**

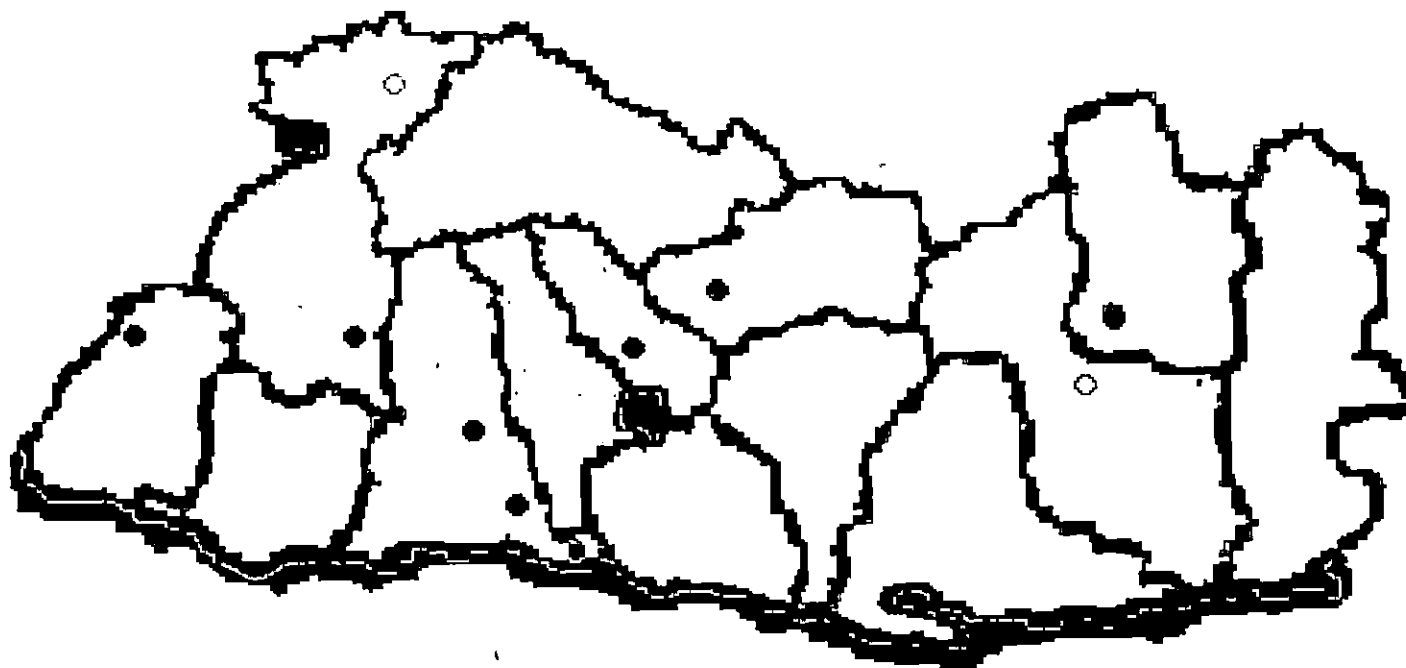
Estado	Nº Digestores	Tipo	Localidad	Departamento	Usos	Responsable de Construcción
BIODIGESTORES EN DESUSO	1	FRY	Chinamas	Ahuachapán	Alumbrado Cocina	Warriner (cuerpo de paz)
	1	ICAITI	San Isidro	Cabañas	Cocina	CEL
	1 1 1	HINDU ICAITI BARRIL	San Luis Talpa (Campo experimental UES)	La Libertad	Cocina	UES
	1 1 1 1	HINDU* ICAITI CHINO BOLSA	ENA	Santa Ana	Cocina Motor generador	Convenio CEL CENTA; ENA
	1	HINDU*	Metapán	Santa Ana	Alumbrado Cocina	Fondos propios de Inge. Mario Vaquero
	1	ICAITI	Orcoyo	La Libertad	Cocina	CEL, ICAITI
	1	HINDU**	Zaragoza	La libertad	Cocina	Trabajo de graduación
	BIODIGESTORES EN CONSTRUCCION	13	BOLSA MEDIA BOLSA	San Jacinto	San Miguel	Cocina
5		BOLSA MEDIA BOLSA	San Bartolo	Morazán	Cocina	
BIODIGESTORES EN USO	5	BARRIL	Suchitoto	Cuscatlan	Cocina	CRC FIAES

\*Hindú convencional \*\*Hindú modificado

CEL: Comisión Ejecutiva del Río Lempa  
 FONAES: Fondo Nacional de El Salvador  
 FIAES: Fondo de Iniciativa para las Américas en El Salvador  
 CRC: Comité de Reconstrucción Comunal de Suchitoto  
 UES: Universidad de El Salvador

ICAITI: Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial  
 CENTA: Centro Nacional de Tecnología y Agricultura  
 ACODEICO: Asociación de Cooperación para el Desarrollo Comunal  
 ENA: Escuela Nacional de Agricultura

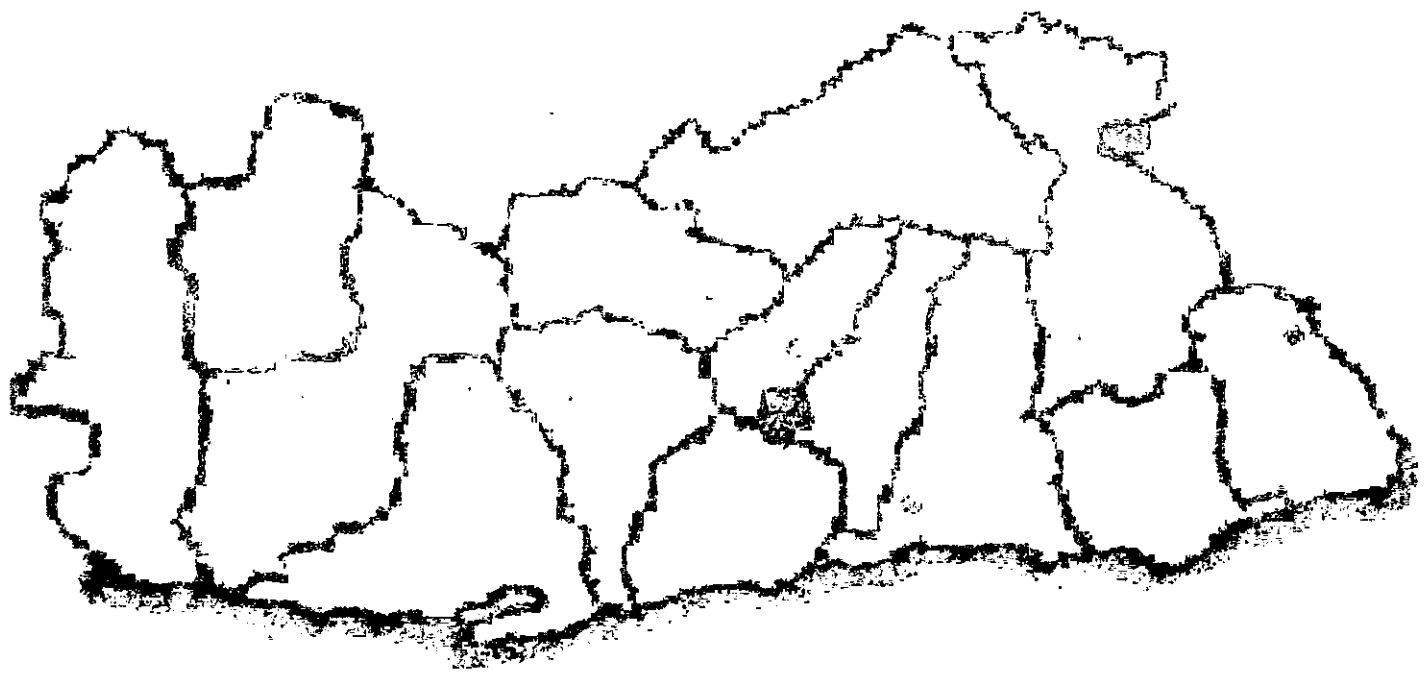
FIGURA 1.19 UBICACION GEOGRAFICA DE LOS DIGESTORES ANAEROBIOS EN EL SALVADOR



- Metapán
- Chinamas
- San Andrés (Escuela Nacional de Agricultura)
- San Luis Talpa (Campo Experimental UES)
- Orochoy (Cooperativa del sector reformado "Santa Lucía")
- Zaragoza (Excampamento Bethania)
- San Isidro
- Suchitoto (Comunidad las Delicias)
- San Jacinto
- San Bartolomé



1990-1991



1. San Antonio  
 2. San Antonio  
 3. San Antonio (municipal district)  
 4. San Antonio (municipal district)  
 5. San Antonio (municipal district)  
 6. San Antonio (municipal district)  
 7. San Antonio (municipal district)  
 8. San Antonio (municipal district)  
 9. San Antonio (municipal district)  
 10. San Antonio (municipal district)

### **7.3.2 DIGESTORES DOMESTICOS RURALES EN INICIO DE OPERACIÓN Y EN CONSTRUCCIÓN**

En esta categoría incluimos los trece biodigestores construidos en el cantón San Jacinto Departamento San Miguel y nueve construidos en el cantón San Bartolo Departamento de Morazán.

El financiamiento para la construcción de estos biodigestores fue otorgado por el Fondo ambiental de El Salvador (FONAES) en conjunto con la Asociación Consultora para el Desarrollo Integral Comunitario (ACODEICO).

Los biodigestores construidos en San Miguel y Morazán son del tipo de bolsa y de media bolsa teniendo un costo unitario aproximado de ₡1,500.00 y ₡7,000.00 respectivamente.

Estos digestores operan con estiércol vacuno en su mayoría y algunos pocos con estiércol porcino, tienen una capacidad de producción de 2 metros cúbicos de biogas diario, para suplir seis horas de utilización para cocción de alimentos. La producción de bioabono será de 80 litros diarios. En los anexos A.3 y A.4, se pueden observar biodigestores de media bolsa en diferentes etapas de construcción, así, como en los anexos A.5 y A.6 se presentan los digestores de bolsa.

### **7.3.3 DIGESTORES DOMESTICOS RURALES EN ESTADO DE ABANDONO**

#### **a) Modelo FRY**

El biodigestor ubicado en las Chinamas departamento de Ahuachapán fué diseñado por Craig B. Warriner colaborador de los Cuerpo de Paz y fue él quién dirigió la obra. El digestor tiene 7 m<sup>3</sup> de capacidad fue construido con ladrillo de barro cocido, actualmente se encuentra en mal estado ya que las paredes del digestor están quebradas, según datos proporcionados por el Sr. Antonio Avalos, propietario del lugar donde está construido, cuando el biodigestor estaba en funcionamiento producía 5 m<sup>3</sup> de gas supliendo las necesidades de cocina y de alumbrado, para una

familia. El digestor se alimentaba diariamente con 100 lb de estiércol bovino y se obtenía la misma cantidad de bioabono.

Este biodigestor funcionó nada más dos años y dejó de funcionar debido a la falta de mantenimiento y asesoría técnica, ya que el Sr. Warriner se retiró del país.

La reactivación de este digestor no es posible debido a que se encuentra demasiado deteriorado (Anexos A.9 y A.8).

El Sr. Antonio Avalos también manifestó su satisfacción por los beneficios de obtenidos durante el funcionamiento del biodigestor.

#### **b) Modelo Hindú construido en Metapán**

Otro de los biodigestores visitados fue el de la Hacienda "La Escondida" en la ciudad de Metapán, departamento de Santa Ana, y se encontró en estado de abandono anexo A.9. Según datos proporcionados por el señor Mario Vaquero quién construyó el biodigestor y es el ex propietario de la propiedad donde se encuentra ubicado el biodigestor, este biodigestor proporcionaba 4 m<sup>3</sup> de biogas, el cual era utilizado para: alumbrado, cocinar alimentos y también para calentar agua, la cual utilizaban para quitar las plumas a las gallinas. El bioabono obtenido era utilizado para la fertilización de dos manzanas de tierra. Este biodigestor funcionó entre el periodo de 1983 hasta de 1988, debido a que la propiedad fue vendida, y los nuevos propietarios no mostraron interés en seguir la producción de biogas.

#### **c) Digestores de la Escuela Nacional de Agronomía (ENA)**

En la Escuela Nacional de Agronomía(ENA) , gracias al convenio ENA-CENTA, en colaboración con el gobierno Chino y CEL , los biodigestores instalados fueron: 1 ICAITI, 1 HINDU, 1 CHINO Y DE BOLSA (anexo A.10, A.11, A.12). Al tratar de conocer las causas de su abandono y determinar su situación actual se pudo conocer lo siguiente gracias a la información proporcionada por el Sr. Bonifacio Rodríguez:

Para el desarrollo de estos proyectos por parte del personal técnico se recibió una capacitación técnica en Israel financiada por este país, así como también en China.

En cuanto a la presencia de asesoría técnica post-implantación tuvo una duración de 5 a 6 años, por parte de organismos extranjeros, pues se conocía como localizarlos, aunque no se puede determinar su disponibilidad.

Los principales problemas que jamás se pudieron solucionar fue el envasado del metano producido y su transporte a las cocinas de la ENA, por lo que la ayuda económica en cuanto a ahorro en los gastos de cocina se quedó a medias. Lo anterior a pesar de que la producción de biogas suplía perfectamente la demanda de la escuela y eran fáciles de operar, quedando limitados por detalles técnicos que los llevó al fracaso y abandono.

Otra de las aplicaciones fueron bioabono y motores( este último a nivel experimental, dando buenos resultados).

Las materias primas utilizadas fueron estiércol bovino , porcino y mezcla de ambos y se producían 6 m<sup>3</sup> totales de materia prima por día, la cual era fácil de recolectar. El agua era disponible todo el año.

Se contaba con un presupuesto de investigación para costear cualquier reparación mecánica de los equipos, por lo que nunca se pudo haber necesitado de créditos para su mantenimiento.

La vida útil de estos equipos se consideraba mayor de 10 años.

En cuanto a las condiciones salubres e higiénicas, no se lograron determinar disminuciones en la cantidad de insectos, enfermedades gastrointestinales y respiratorias.

Sí se logró disminuir la cantidad de leña notablemente. La contaminación por estiércol se disminuyó poco porque la producción era alta y no se agotaba de forma notable diariamente .

Otro factor que influyó para que dejaran de funcionar fue el traslado de los técnicos capacitados a otras empresas y a que no se capacitó a otros.

En la actualidad la visión de la ENA para esta tecnología es la de utilizarla como un medio para la sostenibilidad disminuyendo el déficit energético, contribuyendo a evitar la contaminación a través de proyectos financiados para diseño e Implementación de plantas de biogas para granjas lecheras y de cerdos.

#### **d) Modelo ICAITI**

En la Hacienda Santa Lucia Orcoyo ubicada en el kilometro 43 en el departamento de la Libertad se encuentra el biodigestor que se observó en buen estado físico. Este digestor solamente funcionó seis meses luego de su construcción debido a que se presentaron problemas causados por mordidas de roedores en la bolsa donde se almacenaba el biogas, estos datos fueron proporcionados por el Sr. Urbano Mejía. Que manifestó que el proyecto paro también debido al poco interés mostrado por la Cooperativa y a la falta de asesoría técnica.

#### **e) Digestores del campo experimental de la Universidad de El Salvador**

El proyecto de construcción de estos biodigestores fue financiado por la comunidad económica europea en convenio con la UES (CEE/UES). (Fuente: Ing. Rodrigo Alfredo Montes Miranda).

La CEE apoyó financieramente el mantenimiento posterior de los equipos aunque el proyecto no contemplaba la asesoría técnica post-implantación. Se debe destacar que sí se impartió capacitación técnica para el manejo de los biodigestores durante tres meses. La capacitación fue impartida de forma práctica y los recursos didácticos utilizados fueron: Charlas explicativas, folletos informativos y videos.

Luego en caso de tener fallas se recurría únicamente a la revisión bibliográfica. La visión del Campo Experimental al adoptar esta tecnología para fines educativos es por la razón de considerarla colaboradora con la no degradación de los recursos naturales y la mejoría de las condiciones ambientales.

Según se manifiesta eran fáciles de operar, su vida útil era de 5 años, la materia prima utilizada se restringió únicamente a estiércol bovino, su recolección era fácil y era suficiente para cubrir la demanda de los equipos. También se disponía de agua abundante todo el año.

El uso o aplicación del biogas fue el de cocina únicamente y suplía poco sus necesidades, aun así les interesaba poner en práctica otras aplicaciones. El efluente se utilizaba como abono.

No se lograron verificar los cambios en la calidad de vida que proporcionan equipos biodigestores por la corta vida del proyecto.

Como causa principal de abandono de los biodigestores se tiene la falta de financiamiento para su seguimiento .

**f) Digestor del campo de refugiados Bethania Zaragoza.**

En la visita realizada se encontró el biodigestor en completo abandono, quedando únicamente vestigios de lo que fue el biodigestor. En la actualidad, se esta construyendo un casa de retiro y también el seminario, el cual pertenece al arzobispado. No se encontró a nadie que proporcionara mayor información sobre las causas que llevaron al abandono de la tecnología en este lugar.



## CAPITULO II. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

En el capítulo anterior se trató la situación actual de la tecnología del biogas, pudiéndose observar que esta tecnología ha sido aplicada principalmente en el sector de familias rurales, en las cuales el biogas se ha utilizado mayormente para la cocción de alimentos y en poca escala para iluminación. Las familias rurales constituyen una aplicación potencial del biogas en el país, ya que factores como ubicación geográfica, la baja densidad poblacional y el bajo nivel económico limitan el acceso de fuentes convencionales de energía; y factores como la disponibilidad de materias primas (estiércol, residuos agrícolas, etc.) propician la adopción del biogas y otras fuentes renovables de energía. Es por ello que la investigación sobre la tecnología del biogas se realizara en base a identificar que causas han limitado la adopción de la tecnología en este segmento del mercado de manera exitosa; es decir la aceptación y consecución de uso por parte de los usuarios.

### 1.0 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los elementos para plantear el problema son cuatro y están relacionados entre sí:

- Definición del problema
- Los objetivos que persigue la investigación
- Las preguntas de investigación
- Justificación del estudio

#### a) Definición del problema

En el contexto del panorama en el cual se ha desarrollado la tecnología del biogas en el pasado ha encontrado barreras y limitantes en su adopción, que pueden ser superadas y representar oportunidades. Por ello surge la necesidad de determinar por medio de una investigación ¿por qué es importante la adopción de la tecnología del biogas para las familias rurales de El Salvador, siendo un país en vías de

desarrollo en el cual existen de antemano problemas de tipo energético, económico, social y ambiental?

Podemos definir el problema de la investigación en dos preguntas:

1. ¿Qué causas económicas, políticas, socio - culturales, tecnológicas y ecológicas limitan el desarrollo exitoso de la tecnología de la digestión anaerobia para la producción de biogas como fuente alterna de energía en las familias de las zonas rurales de El Salvador?
2. ¿Cómo están involucradas o relacionadas estas causas?

#### **b) Objetivos de investigación**

1. Identificar las causas económicas, políticas, socio-culturales, tecnológicas y ecológicas que han limitado la adopción de la digestión anaerobia.
2. Evaluar e identificar las relaciones entre estas causas, analizando su importancia.

#### **c) Preguntas de Investigación**

No se ha determinado qué causas específicas inciden en el desarrollo de la tecnología del biogas en la zona rural de El Salvador, pero basándose en la investigación bibliográfica y de campo; se pueden plantear diversas causas y su naturaleza, surgiendo las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Son las causas de tipo económico tales como: financiamiento para organismos de asesoría técnica y nivel económico de las familias rurales; incidentes o influyentes en el estado de la tecnología del biogas?
2. ¿Son las causas políticas tales como: apoyo institucional; incidentes o influyentes en el estado de la tecnología del biogas adoptada por las familias rurales de El Salvador?
3. ¿Son las causas socio-culturales, tales como: nivel de educación de los usuarios (que impide asimilar la tecnología), conciencia social y ambiental, nivel



participación de la comunidad en cooperativas u otras organizaciones; incidentes o influyentes en el estado de la tecnología del biogas en las familias del sector rural?

4. ¿Son las causas tecnológicas tales como: diseño del biodigestor, capacitación técnica, materia prima y uso o aplicación; incidentes o influyentes en el estado de la tecnología del biogas?
5. ¿Son las causas ambientales, tales como: ventajas salubres e higiénicas, conservación del medio ambiente; influyentes favorablemente la promoción de la tecnología del biogas?

#### **d) Justificación**

La energía y electricidad consumidas en El Salvador provienen principalmente de derivados del petróleo y de la leña, es por esto que se hace necesario la aplicación de fuentes de energía no tradicionales renovables, enmarcadas en el desarrollo sostenible tal como la tecnología del biogas, la cual además de constituir un potencial energético es una alternativa para reducir el desequilibrio ecológico en El Salvador.

Se tiene el conocimiento que la tecnología del biogas se ha introducido en diferentes familias rurales de El Salvador en los últimos años, sin embargo no se cuenta con un diagnóstico actualizado de las condiciones, seguimiento y aprovechamiento que se dá a la misma. Por otra parte, no se han determinado las causas sociales, políticas, económicos, tecnológicos y ambientales que impulsan o retrasan su adecuación al país en las familias del sector rural.

Es importante mencionar también que la determinación de estos indicadores permitirá, plantear las perspectivas de desarrollo y alternativas de reactivación de la tecnología del biogas en las familias rurales de El Salvador.

## **2. TIPO DE DISEÑO DE LA INVESTIGACION**

El diseño de la investigación "Diagnóstico de la tecnología del biogas en las familias de la zona rural de El Salvador", es de tipo **no experimental**. En este tipo de

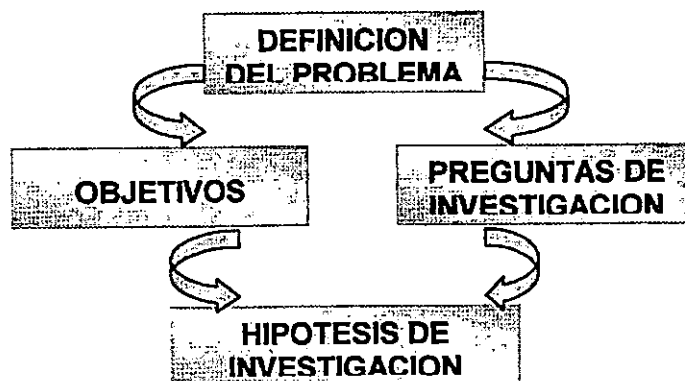
estudio, no se tiene control directo de las variables ni se puede influir en ellas porque los fenómenos se observan tal y como se dan en su contexto natural. En esta investigación se observan los fenómenos concernientes a la tecnología del biogas tal y como se dan en su contexto natural para después analizarlos; no se construye ninguna situación, sino que se observan las situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente.

Para realizar el diagnóstico de la tecnología del biogas en familias de la zona rural es necesario conocer las causas que han limitado su éxito, desde sus inicios hasta la actualidad, por lo que dentro de los estudios no experimentales, esta investigación se clasifica como **transeccional**; ya que en este tipo de investigación, se analiza el nivel o estado de una o diversas variables, o bien cuál es la relación de un conjunto de variables en un punto en el tiempo. Los diseños de investigación transeccional recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único, es decir se utiliza el instrumento evaluador una sola vez y pueden abarcar varios grupos o subgrupos de personas, objetos e indicadores.

En síntesis el diseño de la investigación es de tipo: **no experimental transeccional**.

### **3.0 FORMULACION DE HIPOTESIS**

Las hipótesis de investigación se definen como "proposiciones tentativas acerca de las posibles relaciones entre dos o más variables"; y, proponen respuestas tentativas a las preguntas de investigación, por ello las hipótesis comúnmente surgen de los objetivos y preguntas de investigación.



A su vez los objetivos y preguntas de investigación surgen de la definición del problema de investigación.

De acuerdo con los objetivos y preguntas de investigación, la hipótesis que se planteará a continuación es de tipo **Causal** porque plantea la relación existente entre las causas de tipo económico, político, socio-cultural, tecnológicas y ambientales (variables independientes) y el estado de la tecnología del biogas (variables dependientes).

#### **Hipótesis de investigación (Hi):**

“ El estado de la tecnología de la digestión anaerobia está determinada por variables de tipo económico, político, socio-cultural, tecnológico y ambiental, que dan lugar al estado de la tecnología del biogas aplicada en las familias de las zonas rurales de El Salvador (variables dependientes)”.

#### **Hipótesis nula (Ho):**

“ El estado de la tecnología de la digestión anaerobia no está determinada por variables de tipo económico, político, socio-cultural, tecnológico y ambiental, que en conjunto no condicionan el estado de la tecnología del biogas aplicada en las familias de las zonas rurales de El Salvador”.

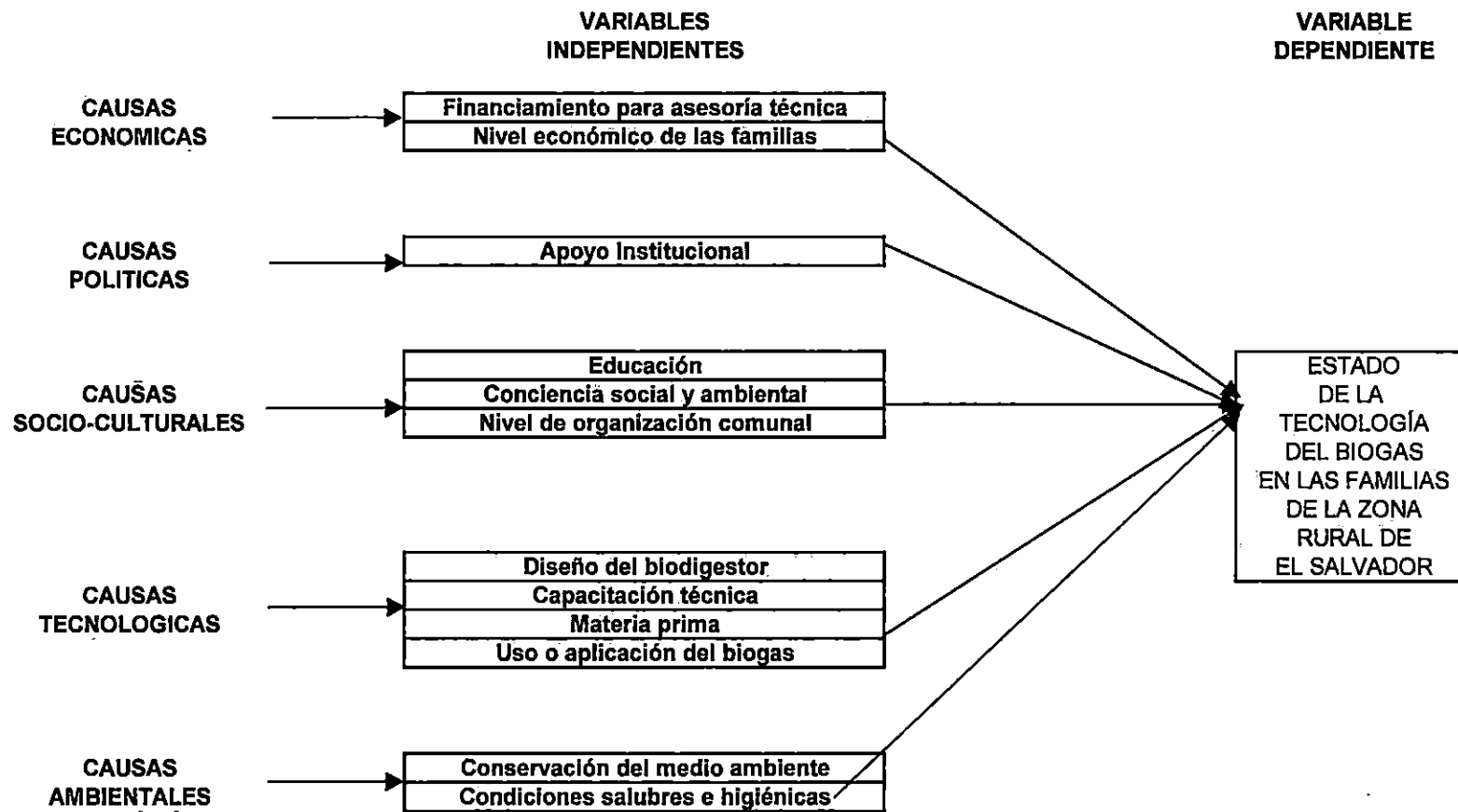
En la figura 2.1 se presenta el esquema de la hipótesis de investigación.

### 3.1 DEFINICIÓN CONCEPTUAL Y OPERACIONAL DE LAS VARIABLES

- ◆ **Definición Conceptual:** Define un concepto real (término o variable) en otros términos o palabras.
  
- ◆ **Definición Operacional:** Constituye el conjunto de procedimientos que describe las actividades que un observador debe realizar para recibir las impresiones sensoriales, y de esta manera medir las variables.

En el tabla 2.1 se presentan las definiciones conceptuales y operacionales que involucra la hipótesis.

Figura 2.1 ESQUEMA DE LA HIPOTESIS DE INVESTIGACION



**Tabla 2.1 Definiciones conceptuales y operacionales que involucra la hipótesis**

VARIABLES INDEPENDIENTES			
VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES
Financiamiento para asesorías técnicas	Fondos que se destinan para la creación y la operación de organismos o instituciones encargadas de brindar asesoría técnica post-Implantación de biodigestor.	Grado en el cual se destinan fondos para organizaciones de asesoría técnica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grado de presencia o ausencia de asesorías técnicas sistemáticas post-Instalación de los equipos.</li> <li>• Tiempo de duración de la asesoría.</li> <li>• Resolución de problemas mecánicos.</li> </ul>
Nivel económico de las familias	Estado o situación económica de las familias beneficiadas con la tecnología.	Cantidad de recursos financieros, bienes materiales, que posee una familia y que le permite llegar a dar un buen mantenimiento cuando sea necesario.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilidad económica para brindar mantenimiento mecánico.</li> </ul>
Apoyo Institucional	La participación de organismos gubernamentales o no gubernamentales que colaboren con el desarrollo de las comunidades en las que se ubican las familias.	Grado de participación o colaboración de Instituciones y organismos gubernamentales con proyectos de desarrollo comunal en las que están integradas las familias de la zona rural	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apoyo financiero para mantenimiento del biodigestor a las familias</li> <li>• Trabajo social para el desarrollo comunal.</li> </ul>
Educación	Formación académica.	Formación escolar recibida por miembros de la familias	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grado escolar</li> </ul>
Conciencia social y ambiental.	Comprensión de conceptos ecológicos que establezcan la importancia de preservar el medio ambiente.	Comprensión de la importancia de preservar nuestro medio ambiente limpio y saludable.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocimiento de conceptos de conservación del medio ambiente.</li> <li>• Práctica de normas higiénicas</li> </ul>

**Tabla 2.1 Definiciones conceptuales y operacionales que se involucra la hipótesis (Continuación)**

VARIABLES INDEPENDIENTES			
VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES
Nivel de organización de la comunidad a la que pertenece la familia	El grado de organización de una comunidad para lograr beneficios en común.	El grado de organización de la comunidad a la que pertenece la familia rural para lograr beneficios en común.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pertenencia a un grupo o asociación</li> <li>• Trabajo en equipo</li> </ul>
Diseño del Biodigestor	Diseño físico y mecánico del digestor que se ajuste a los requerimientos de la familia.	El grado en que el digestor se acople y brinde las soluciones que se esperan para la familia.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de biodigestor</li> <li>• Satisfacción de la demanda de gas</li> <li>• Fácil manejo del equipo</li> <li>• Vida útil del biodigestor</li> </ul>
Materia prima	Sustrato para la producción de biogas.	El grado de disponibilidad de la materia prima para operar el biodigestor.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de materia prima</li> <li>• Disponibilidad de la materia prima y agua</li> <li>• Facilidad de manejo de la materia prima</li> <li>• Rendimiento</li> </ul>
Uso domestico o aplicación del biogas por la familia	Utilidad que se le da al gas producido a nivel domestico.	Utilidad que se le da al biogas producido y otras alternativas a aplicar a nivel domestico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Usos del biogas a nivel domestico</li> <li>▪ Alternativas del uso del biogas a nivel domestico</li> <li>• Uso del biodigestor para la aplicación o finalidad más importante desde el punto de vista de los usuarios domésticos.</li> </ul>
Capacitación técnica	Es la enseñanza adecuada que se imparte para conocer y operar el biodigestor a los usuarios.	La buena enseñanza y el contenido de temas impartido para que las personas puedan manejar correctamente su digestor, empleando los métodos didácticos que sean necesarios.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contenido de la capacitación.</li> <li>• Buen manejo del digestor por parte del usuario.</li> <li>• Métodos didácticos utilizados.</li> </ul>

**Tabla 2.1 Definiciones conceptuales y operacionales que involucra la hipótesis (Continuación)**

VARIABLES INDEPENDIENTES			
VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES
Condiciones salubres e higiénicas	Conservación y control de un ambiente sano e higiénico, para evitar enfermedades provocadas por la presencia de materia prima sin tratar	Disminución de las enfermedades debida a la proliferación de insectos, causada por la materia prima para el digestor desechos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de enfermedades gastrointestinales, respiratorias y otras infecciones, etc.</li> <li>• Practicas de normas higiénicas en el manejo de materia prima.</li> </ul>
Conservación del medio ambiente	Preservar los recursos naturales lo mejor posible para no dañar el medio ambiente.	El grado en el que la tecnología del biogas colabora con el mantenimiento del medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución en la cantidad de leña quemada por día con fines domésticos.</li> </ul>



## 4.0 DISEÑO METODOLOGICO

Para la realización de una investigación es necesario seguir un **diseño metodológico u operaciones metodológicas**, que son un conjunto de especificaciones técnicas conforme a las cuales se realiza la investigación. Los elementos que forman parte de este proceso son:

- a) Definición del tipo de estudio
- b) Determinación del universo y la muestra estudio
- c) Diseño del instrumento evaluador
- d) Definición del plan de tabulaciones
- e) Análisis de datos.

### 4.1 TIPO DE ESTUDIO

Es necesario definir el tipo de investigación que se va a realizar, aunque muchas veces se ha definido desde el principio de la investigación, cada etapa del proceso de esta, provee elementos que sirven para su elección definitiva.

Al iniciar la investigación sobre la tecnología del biogas en El Salvador aplicada a las familias rurales, surge la pregunta de ¿Por qué la tecnología del biogas a nivel de las familias rurales no ha tenido el éxito esperado?; desde esta perspectiva el estudio se perfila como de tipo explicativo, este tipo de estudio esta dirigido a responder a las causas de los eventos físicos o sociales; como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno, o por que dos o más variables están relacionadas. En el caso particular de esta investigación nos interesa responder:

- ¿Qué causas limitan el desarrollo de la tecnología del biogas en El Salvador?
- ¿Cómo estas causas están relacionadas con el estado de los biodigestores?

Las investigaciones explicativas son más estructuradas que las demás clases de estudio, por que involucran propósitos de los estudios exploratorios y descriptivos.

El diagnóstico de la tecnología del biogas aplicado a las familiar rurales de El Salvador, aunque sé caracteriza del tipo explicativo, contiene elementos exploratorios y descriptivos.

Al iniciar este diagnostico, fue necesario hacer un **estudio exploratorio**, estos se efectúan, normalmente, cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado. Esto se apegaba a la investigación sobre el biogas ya que no se contaba con información certera de ubicación de los biodigestores, por lo que era necesario contactar con personas o instituciones que estuvieron o están actualmente relacionadas con el tema y, además, de localizar y visitar lugares donde los biodigestores están ubicados.

Luego el estudio se torna **Descriptivo**, ya que surge la necesidad de determinar el estado actual de los biodigestores de las familias residentes en las zonas rurales de El Salvador, como indicador del desarrollo de la tecnología.

Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de cualquier fenómeno que sea sometido a análisis (Danke, 1986), se seleccionan una serie de variables y se miden independientemente. En el caso de esta investigación se seleccionan probables causas (variables) económicas, políticas, socio-culturales, tecnológicas y ecológicas; que influyen en el desarrollo de la tecnología del biogas adoptada por las familias de las zonas rurales y que posteriormente mediante un instrumento de recolección de datos se medirán.

## **4.2 DETERMINACION DEL UNIVERSO Y MUESTRAS**

### **4.2.1 DETERMINACIÓN DE LA POBLACIÓN**

**Población:** entenderemos como universo al conjunto total de familias usuarias de los biodigestores, existentes en la zona rural de El Salvador.

Se descartan los usuarios de los biodigestores domésticos desaparecidos desaparecidos, de los cuales no se tiene actualmente una fuente de referencia que

permita localizarlos y obtener una información confiable de ellos. Estando en esta situación:

- Biodigestor de San Isidro, Cabañas.
- Biodigestor Bethania, Zaragoza, La Libertad.

Dentro de la población de esta investigación se han englobado tres, según su estado de acuerdo al estado actual de los biodigestores:

<b>Caso a considerar</b>	<b>Usuarios relacionados con biodigestores</b>
Caso I	Biodigestores domésticos rurales en desuso
Caso II	Biodigestores domésticos rurales en funcionamiento
Caso III	Biodigestores domésticos rurales en construcción o nuevos

#### 4.2.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE MUESTRA

Con base en los objetivos del estudio y el esquema de la investigación la evaluación de campo de los distintos casos de biodigestores se realizó de forma siguiente:

- ✓ Biodigestores domésticos rurales en desuso y biodigestores domésticos rurales en funcionamiento (caso I y II):

La elección del tipo de muestra en estos casos se realizó tomando en cuenta el número de biodigestores, de esta manera se eligió hacer un censo debido a que la población involucrada en estos casos es pequeña, por lo que, no se hace necesario tomar muestra de ellos.

- ✓ Biodigestores domésticos rurales en construcción o nuevos (caso III)

En este caso se seleccionaron aleatoriamente cinco biodigestores como una muestra representativa de la población, ya que en este caso la investigación se

limita por las distancias geográficas de estos biodigestores y el acceso a los mismos.

En los tres casos, se pretende conocer cómo causas de tipo económico, político, socio-culturales, tecnológicas y ecológicas; influyen en el desarrollo de la tecnología del biogas aplicada a las familias de la zona rural; para poder determinar así si ha habido algunos cambios, que estén contribuyendo al éxito de la tecnología ó limitación de su desarrollo en el pasado se estén repitiendo en la actualidad.

#### **4.3 DISEÑO DEL INSTRUMENTO EVALUADOR**

El diseño del instrumento evaluador debe ser tal que pueda captar los aspectos claves del desarrollo (problemas y fallos) en la implantación, utilización y aceptación de la tecnología del biogas en las familias rurales de El Salvador.

En esta etapa se pretende evaluar y medir las causas económicas, políticas, socio-culturales, tecnológicas y ambientales que han limitado la adopción de la digestión anaerobia para la producción de biogas, en las familias de las zonas rurales de nuestro país; para esto se ha elegido como instrumento evaluador la encuesta. Esta permitirá conocer información sobre estas variables a través de las opiniones de los usuarios de los biodigestores domésticos, permitiendo asimilar y comprender las situaciones que dieron o están dando origen al estado actual de la tecnología del biogas en este sector del país.

La construcción del instrumento evaluador (encuesta), se ha realizado en base a la hipótesis, y se han diseñado tres encuestas, una para los usuarios de biodigestores domésticos en desuso, para los usuarios de biodigestores domésticos en funcionamiento y en construcción o nuevos.

Las encuestas están divididas en variables que definen causas económicas, políticas, socio-culturales y ambientales; cada variable contiene una serie de ítems o preguntas, las cuales permiten medirlas y conocer la opinión de los familias usuarias y algunos datos informativos.

Parte importante para la validación del instrumento evaluador es aplicarlo en forma de una "prueba piloto" a personas con características semejantes a las de la población objetivo de la investigación, para fines de esta investigación se aplicó a personas que de alguna manera están o estuvieron relacionadas con la tecnología del biogas a nivel doméstico, de esta manera la encuesta preliminar se modificó y ajustó, con la información que cada una de ellas aportó. En los anexos B, C y D se presentan los modelos de encuestas utilizados para la evaluación.

En el caso de la variable nivel económico se hará uso de una **guía de observación**, la cual servirá para complementar los datos obtenidos con la encuesta y permitirá conocer las condiciones de vida de las familias y por ende describir mejor esta variable. En el anexo E se presenta el formato de la guía de observación y el reporte de las observaciones para los usuarios de biodigestores en funcionamiento y en construcción.

#### **4.4 PLAN DE TABULACIONES**

El plan de tabulaciones consiste en codificar los datos en cada ítem y variable, asignándoles un valor numérico que los represente. Esta codificación se realizó de la siguiente manera:

1. Cada variable se ponderó con una calificación de 100 o porcentaje de 100 %.
2. La calificación de 100 o porcentaje de 100% se distribuyó en los ítems, tomando en cuenta su importancia y contribución para describir dicha variable según los indicadores establecidos en el cuadro 3.1. De esta manera la sumatoria de los puntajes o porcentajes de los ítems de cada variable, puede poseer un puntaje máximo de 100 o un porcentaje máximo de 100 %.
3. Los ítems dentro de cada variable se ponderaron equitativamente, es decir si una variable está determinada por cuatro ítems, cada uno tendrá un valor de 25 (100/4).

4. En los ítems o preguntas cerradas, las afirmaciones tendrán la máxima puntuación asignada (100). Por ejemplo para la variable apoyo institucional:

1. ¿Quién financió el proyecto del biodigestor?
2. ¿Recibe apoyo financiero por parte de alguna institución para el mantenimiento del equipo?      **50.Sí**      **0.No**
3. ¿Se han llevado a cabo otros proyectos de desarrollo que beneficien su comunidad?      **50.Sí**      **0.No**

La puntuación de la variable se obtienen sumando los valores obtenidos respecto a cada ítem. En este caso el ítem 1 se considera informativo, la variable alcanzará la máxima puntuación (100) si el ítem 2 y 3 son afirmativos ( $50+50=100$ ), de lo contrario la variable tendrá el valor mínimo de cero (0).

5. Para ítems o preguntas con alternativas, la ponderación correspondiente a ese ítem en la variable se divide entre el número de alternativas, Presentándose dos situaciones:

- Acumulación de puntaje: se dá cuando las alternativas mantienen un orden de menor a mayor. Por ejemplo. En la variable financiamiento para asesorías técnicas post-implantación, se tienen cuatro ítems por lo que cada ítem tiene una ponderación de 25 ( $100/4$ ), para el ítem 2 se tiene:

2. ¿Por cuanto tiempo recibió asesoría técnica?      **Ponderación: 25**
- |                 |                          |              |
|-----------------|--------------------------|--------------|
| 1-3 meses       | <input type="checkbox"/> | <b>6.25</b>  |
| 3-6 meses       | <input type="checkbox"/> | <b>12.5</b>  |
| 6 meses a 1 año | <input type="checkbox"/> | <b>18.75</b> |
| más             | <input type="checkbox"/> | <b>25</b>    |

En este caso la puntuación se obtiene dividiendo el valor del ítem entre el número de alternativas ( $25/4=6.25$ ), este valor se acumula para cada alternativa, es decir para la alternativa 2 (3-6 meses) tendrá un valor de  $6.25+6.25 = 12.5$ , para la alternativa 3 (6 meses a 1 año) será  $6.25+6.25+6.25 = 18.75$  y, se obtendrá una puntuación máxima de 25 si la asesoría técnica es

más de 1 año, esto se establece debido a que según datos recabados por expertos es el tiempo prudencial en el cual un usuario puede operar en forma eficiente el equipo.

- **Puntaje independiente:** en este caso cada alternativa es independiente y la adición del puntaje de cada alternativa da el valor del ítem. Ejemplo. En la variable capacitación técnica, ítem 2 con una ponderación de 25 se tiene:

2. Que se le enseñó en la capacitación?

Forma de carga y descarga	<input type="checkbox"/>	<b>4.17</b>
Medir pH	<input type="checkbox"/>	<b>4.17</b>
Control pH	<input type="checkbox"/>	<b>4.17</b>
Detección de fugas	<input type="checkbox"/>	<b>4.17</b>
Disponibilidad de gas	<input type="checkbox"/>	<b>4.17</b>
Problemas comunes y como resolverlos	<input type="checkbox"/>	<b>4.17</b>

De manera que si se ha recibido sólo lo tres alternativas en capacitación la puntuación obtenida será de 12.5 ( $4.17+4.17+4.17$ ) y se obtendrá el máximo si se recibió todas las alternativas presentadas.

6. Los datos y puntajes obtenidos están tabulados por variables. En las tablas de resultados se presenta el numero de encuesta, datos informativos y:

- Puntajes de ítems por encuesta
- Puntaje de la variable por encuesta: suma de los puntajes de los ítems.
- Puntajes promedio por ítems
- Puntaje máximo por ítems
- Promedio de la variable: sumatoria de los puntajes promedio por ítems ó igual al promedio de los puntajes de la variable por encuesta.

Nº Encuesta	(Ítem)	(Ítem)	Puntaje
1	0	50	50
2	50	0	50
3	50	50	100
<b>Puntaje Promedio</b>	<b>33.33</b>	<b>33.33</b>	<b>66.66</b>
<b>Puntaje máximo</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

En la tabla 2.2 se detallan la distribución de puntos o porcentajes para cada ítem por variable para los biodigestores en uso y funcionamiento y en la tabla 2.3 para los biodigestores en construcción.

**Tabla 2.2 Distribución de puntos para los ítems de los instrumentos de evaluación de Biodigestores en desuso y Biodigestores Funcionando.**

VARIABLE	ITEM	VALOR O PONDERACION
I. Apoyo institucional	1	Informativo
	2, 3	50
II. Financiamiento para asesorías técnicas post-implantación.	1, 2, 3, 4	25
	8	informativo
III. Nivel económico de las familias	1, 2, 4	Informativo
	3	100
IV. Educación	1, 2	50
V. Conciencia social y ambiental	1, 2	50
VI. Nivel de organización de la comunidad	1	100
VII. Diseño del biodigestor	1,2,3	Informativo
	4, 5, 6	33.33
VIII. Materia prima	1, 5, 6	Informativo
	2, 3, 4	33.33
IX. Uso o aplicación	1, 2, 3, 4	25
	5, 6, 7	Informativo
X. Capacitación Técnica	1, 2, 3, 4	25
	5	Informativo
XI. Condiciones Salúbres e Higiénicas	1, 2, 3	50 (16.67 c/u)
	4	50
XII. Conservación del Medio Ambiente	1, 2	50

**Tabla 2.3 Distribución de Puntos de biodigestores en Construcción**

VARIABLE	ITEM	VALOR O PONDERACION
I. Apoyo Institucional	1	Informativo
	2, 3	50
II. Financiamiento para asesorías técnicas post-implantación.	1, 2	50
III. Nivel económico de las familias	1, 2	Informativo
	3, 4	50
IV. Educación	1, 2	50
V. Conciencia social y ambiental	1, 2	50
VI. Nivel de organización de la comunidad	1	100
VII. Diseño del biodigestor	1, 2, 3	Informativo
	4	100
VIII. Materia prima	1.	Informativo
	2, 3, 4	33.33
IX. Uso o aplicación	1, 3, 4	Informativo
	2	100
X. Capacitación Técnica	1, 2, 3, 4	25
XI. Condiciones Salubres e Higiénicas	1	100



## 4.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

A continuación se realiza el análisis estadístico de los datos recopilados por medio de las encuestas diseñadas anteriormente. El análisis estadístico a utilizar es de tipo descriptivo.

Este análisis estadístico se ha dividido en tres partes:

1. Análisis estadístico de biodigestores domésticos rurales en desuso
2. Análisis estadístico de biodigestores domésticos rurales en funcionamiento y
3. Análisis estadístico de biodigestores domésticos rurales en etapa de construcción.

### 4.5.1 ANÁLISIS DE BIODIGESTORES DOMESTICOS RURALES EN DESUSO

En este apartado se estudiarán los resultados de los biodigestores que fueron utilizados por familias de la zona rural, para suplir sus necesidades domésticas.

Las personas censadas fueron tres que representan el total de biodigestores que funcionaron a nivel familiar rural en el pasado, de estos se generaron tres encuestas, las cuales se presentan a continuación.

Las tablas que se detallan a continuación contienen los valores obtenidos por cada ítem para calificar la variable. Estos valores fueron detallados anteriormente en las tablas 2.2 y 2.3.

## DATOS GENERALES

**Tabla 2.4. Datos generales para biodigestores en desuso**

Nº Encuesta	Departamento	Municipio	Nombre de la finca o hacienda	Entrevistado
1	Santa Ana	Metapán	Particular	Ing. Mario vaquero
2	Ahuachapan	Las Chinamas	Particular	Antonio Osorio
3	La Libertad	Sta Lucia Orcoyo	Sta Lucia Orcoyo	Urbano Mejia

## I. Apoyo Institucional

**Tabla 2.5. Resultados obtenidos para la variable apoyo institucional**

Nº Encuesta	Organismo que financió el proyecto de biogas	Apoyo financiero para mantenimiento (Item 1)	Proyectos de beneficio para la comunidad (Item 2)	Puntaje
1	Fondos propios	0	0	0
2	AID Cuerpos de paz	0	0	0
3	CEL	0	0	0
<b>Puntaje Promedio</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Puntaje máximo</b>		<b>70</b>	<b>30</b>	<b>100</b>

Como puede observarse en la tabla anterior, no existió ningún tipo de apoyo institucional, ni proyectos que beneficiaran a familias usuarias de estos biodigestores. Aún en el caso del biodigestor financiado por una Institución Gubernamental no hubo ningún apoyo sistemático que garantizara su buen funcionamiento.

## II. Financiamiento Para Asesorías Técnicas Post -Implantación

**Tabla 2.6. Resultados obtenidos para la variable financiamiento para asesoría post implantación**

Nº Encuesta	Importancia asesoría	Asesoría técnica post-construcción (Item 1)	Duración de la asesoría técnica (Item 2)	Capacidad de resolver problemas por Ase. Téc. (Item 3)	Conocimiento asesoría técnica (Item 4)	Puntaje
1	Muy importante	0	0	0	25	25
2	Muy importante	0	0	25	25	50
3	Muy importante	0	0	0	25	25
<b>Puntaje Promedio</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>8.33</b>	<b>25</b>	<b>33.33</b>
<b>Puntaje máximo</b>		<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>100</b>

Los biodigestores en estado de abandono no recibieron ningún tipo de asesoría técnica luego de construidos. La capacidad de resolver problemas es limitada. Los propietarios de los biodigestores sabían a quien acudir en caso de fallas en sus equipos.

### III. Nivel económico de las familias

Tabla 2.7. Resultados obtenidos para la variable nivel económico de las familias

Nº Encuesta	Miembros familia	Actividad Económica	Capacidad para costear reparaciones (Item 1)
1	7	Agricultura y Ganadería	100
2	6	Agricultura	0
3	5	Agricultura	0
<b>Puntaje Promedio</b>			<b>33.33</b>
<b>Puntaje máximo</b>			<b>100</b>

La capacidad económica de los propietarios de los biodigestores era bastante limitada.

### IV. Educación

Tabla 2.8. Resultados obtenidos para la variable educación

Nº Encuesta	Alfabetismo (Item 1)	Grado académico (Item 2)	Puntaje
1	50	50	100
2	50	20	70
3	50	20	70
<b>Puntaje Promedio</b>			<b>80</b>
<b>Puntaje máximo</b>			<b>100</b>

Todas las personas usuarias sabían leer y escribir. Sin embargo, su grado académico es bajo, lo cual pudo haber influido en la comprensión del sistema del biodigestor.

## V. Conciencia social

**Tabla 2.9. Resultados obtenidos para la variable conciencia social**

Nº Encuesta	Grado de información sobre medio ambiente (Item 1)	Conciencia de la contribución ecológica utilizando biogas (Item 2)	Puntaje
1	0	50	50
2	0	50	50
3	0	50	50
<b>Puntaje Promedio</b>	<b>0</b>	<b>50</b>	<b>50</b>
<b>Puntaje máximo</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

En el pasado no se proporcionó ningún tipo de información sobre medio ambiente y salud, sin embargo, se poseía conciencia sobre la contribución al medio ambiente y a la salud al utilizar biodigestores, por parte de los usuarios.

## VI. Nivel de organización de la comunidad

**Tabla 2.10. Resultados obtenidos para la variable nivel de organización de la comunidad**

Nº Encuesta	Organización campesina
1	0
2	0
3	100
<b>Puntaje promedio</b>	<b>33.33</b>
<b>Puntaje máximo</b>	<b>100</b>

Las personas en su mayoría no pertenecen a ningún tipo de organización ya que unos trabajaron los biodigestores de forma individual y otros con ayuda de organizaciones extranjeras.

## VII. Diseño del biodigestor

**Tabla 2.11. Resultados obtenidos para la variable diseño del biodigestor**

Nº Encuesta	Tipo de biodigestor	Dimensiones		Satisfacción de demanda (Item 2)	Facilidad operación (Item 3)	Vida útil (Item 4)	Puntaje
		Largo (m)	Ancho (m)				
1	Hindú	NA	2	33.33	33.33	33.33	100
2	Fry	3.5	1.5	33.33	33.33	33.33	100
3	ICAITI	3	1.5	33.33	16.65	33.33	83.31
<b>Puntaje Promedio</b>				<b>33.33</b>	<b>27.77</b>	<b>33.33</b>	<b>94.43</b>
<b>Puntaje Máximo</b>				<b>33.33</b>	<b>33.33</b>	<b>33.33</b>	<b>100</b>

En la tabla 2.11 podemos observar que el diseño de los biodigestores, es satisfactorio ya que satisfacían la demanda de los usuarios, el tiempo de vida útil era adecuado y se les facilitaba completamente la operación del digestor.

## VIII. Materia prima

**Tabla 2.12. Resultados obtenidos para la variable materia prima**

Nº Encuesta	Sustrato Utilizado	Problemas en la preparación de mezclas	Facilidad de recolección de materia prima (Item 2)	Disponibilidad de agua (Item 3)	Disponibilidad materia prima (Item 4)	Puntaje
1	Bovino, Porcino y Gallinaza	Ninguno	33.33	33.33	33.33	100
2	Bovino y Porcino	Evitar basura en la mezcla	33.33	33.33	33.33	100
3	Bovino	Traslado de materia prima	33.33	16.65	33.33	83.31
<b>Puntaje Promedio</b>			<b>33.33</b>	<b>27.77</b>	<b>33.33</b>	<b>94.43</b>
<b>Puntaje Máximo</b>			<b>33.33</b>	<b>33.33</b>	<b>33.33</b>	<b>100</b>

La materia prima no representó ningún problema para el funcionamiento del biodigestor ni el agua ya que existía agua en abundancia.



## IX. Uso o aplicación

**Tabla 2.13. Resultados obtenidos para la variable uso o aplicación**

Nº Encuesta	Aplicación Biogas (Item 1)	Interés en otros usos (Item 2)	Aplicación adecuada a las necesidades de la familia (Item 3)	Mejora la calidad de vida (Item 4)	Puntaje
1	16.65	0	25	25	66.65
2	16.65	25	25	25	91.65
3	0	25	25	25	75.40
<b>Puntaje Promedio</b>	<b>11.23</b>	<b>17</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>77.90</b>
<b>Puntaje Máximo</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>100</b>

Los usos del biogas son diversos, y los usuarios del biogas les interesaba utilizar el biogas en otras aplicaciones que de alguna manera facilitaran su vida cotidiana como en alumbrado ya que en su mayoría no poseían energía eléctrica. En la tabla 2.13 podemos observar que si se cubrían las necesidades de las familias las ya que les proporcionaba lo suficiente para las actividades diarias de cocción de alimentos. Con respecto a la calidad de vida de las personas (ítem 4) se mejoró ya que no tenían que se les facilitaba la cocción de alimentos, economizaban tiempo y dinero.

## X. Capacitación técnica

**Tabla 2.14. Resultados obtenidos para la variable capacitación técnica**

Nº Encuesta	Problemas de manejo del digestor	Capacitación Técnica (Item 1)	Contenido de Capacitación (Item 2)	Recursos Didácticos (Item 3)	Conocimiento de lugares de adquisición de materiales (Item 4)	Puntaje
1	Baja producción	0	0	0	0	0
2	Revalse de la vacuna	25	25	0	25	75
3	Problemas de almacenaje	25	4.17	16.67	25	70.84
<b>Puntaje Promedio</b>		<b>16.67</b>	<b>9.72</b>	<b>5.56</b>	<b>16.67</b>	<b>48.61</b>
<b>Puntaje Máximo</b>		<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>100</b>

La capacitación técnica que recibieron los usuarios fue deficiente, así como también el contenido de ésta y los recursos didácticos. El conocimiento en donde adquirir los materiales era conocido por todos pero en algunos casos se dificultaba la compra por factores económicos.

## XI. Condiciones salubres e higiénicas

**Tabla 2.15. Resultados obtenidos para la variable condiciones salubres e higiénicas**

No Encuesta	Disminución de insectos (Item 1)	Disminución de enfermedades gastrointestinales (Item 2)	Disminución de enfermedades respiratorias (Item 3)	Protección personal (Item 4)	Puntaje
1	16.67	16.67	16.67	0.00	50.00
2	0.00	0.00	0.00	50.00	50.00
3	0.00	0.00	0.00	20.00	20.00
Puntaje Promedio	5.56	5.56	5.56	23.33	40.00
Puntaje Máximo	16.67	16.67	16.67	50.00	100.00

Las enfermedades disminuyeron en un nivel muy bajo. La mayoría de personas utilizaban protección personal para el manejo del estiércol.

## XII. Conservación del medio ambiente

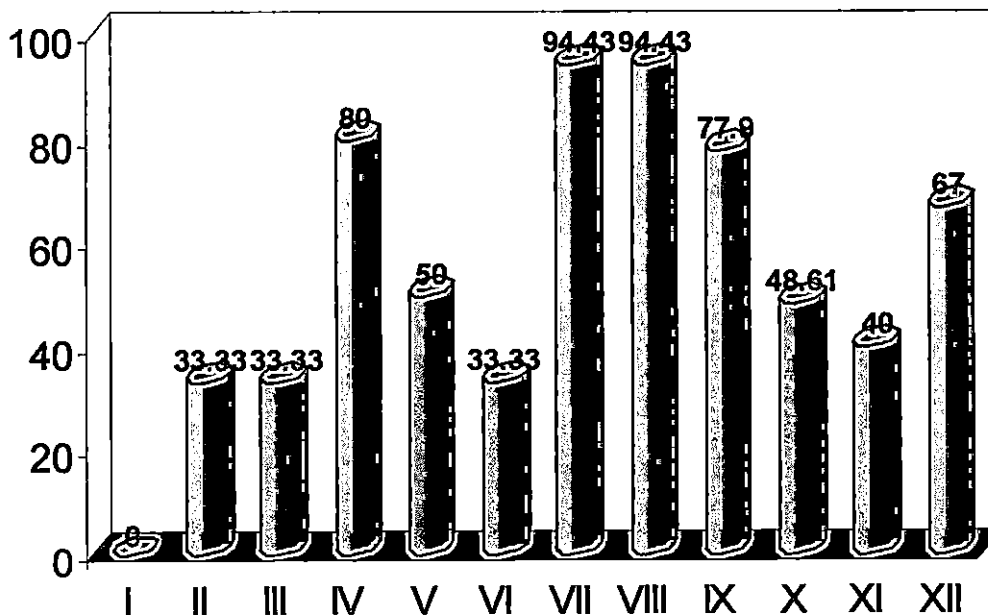
**Tabla 2.16. Resultados obtenidos para la variable conservación del medio ambiente**

Nº Encuesta	Disminución en el uso de leña (Item 1)	Disminución de estiércol (Item 2)	Puntaje
1	50	50	100
2	50	0	50
3	50	0	50
Puntaje Promedio	50	17	67
Puntaje máximo	50	50	100

Los usuarios de los biodigestores están conscientes del beneficio que el utilizar el biogas le estaban proporcionando al medio ambiente y a su entorno. Luego de realizar el análisis por variables, se realizó tomando en cuenta los promedios por cada variable, para de esta manera comparar el comportamiento de las variable.

**Tabla 2.17. Promedios obtenidos para las variables analizadas**

VARIABLE	PROMEDIO
I. Apoyo institucional	0
II. Asesoría técnica post-implantación	33.33
III. Nivel económico de las familias	33.33
IV. Educación	80
V. Conciencia social y ambiental	50
VI. Nivel de organización de la comunidad	33.33
VII. Diseño del biodigestor	94.43
VIII. Materia prima	94.43
IX. Uso o aplicación del biogas	77.90
X. Capacitación técnica	48.61
XI. Condiciones salubres e higiénicas	40.00
XII. Conservación del medio ambiente	67



**Figura 2.2 Comparación de variables para los biodigestores en desuso**

La media aritmética de los resultados es de 54.36, que indica una desviación bastante alta de las siguientes variables:

Variable afectada	Puntaje
I Apoyo institucional	0
II Asesoría técnica post - implantación	33.33
III Nivel económico de las familias	33.33
V Conciencia social y ambiental	50
VI Nivel de organización de la comunidad	33.33
X Capacitación técnica	48.61
XI Condiciones salubres e higiénicas	40



#### 4.5.2 BIODIGESTORES DOMESTICOS RURALES EN FUNCIONAMIENTO

En este estado se encuentran cinco biodigestores domésticos pertenecientes a un mismo proyecto los cuales se encuentran ubicados en el departamento de Cuscatlán, municipio de Suchitoto. A continuación se dan más detalles generales recopilados mediante el censo a cinco familias, las cuales en la actualidad son las únicas que utilizan la tecnología del biogas en el área rural a nivel domestico representando el 100% de este grupo a estudiar, a continuación se presenta el análisis de cinco encuestas.

##### Datos Generales

**Tabla 2.18. Datos generales para biodigestores en funcionamiento**

N° Encuesta	Departamento	Municipio	Cantón	Entrevistado
1	Cuscatlán	Suchitoto	Las Delicias	José Antonio Alas
2	Cuscatlán	Suchitoto	Las Delicias	Caín Uriel
3	Cuscatlán	Suchitoto	Las Delicias	María Angelica Rivas
4	Cuscatlán	Suchitoto	Las Delicias	Nilda Palmas
5	Cuscatlán	Suchitoto	Las Delicias	

Para poder describir la situación o problemática de los biodigestores en funcionamiento se realizara un análisis de las variables expuestas en la hipótesis y codificadas según la tabla 2.2

##### 1. Apoyo Institucional

**Tabla 2.19. Resultados obtenidos para la variable apoyo institucional**

N° Encuesta	Organismo que financió el proyecto de biogas	Apoyo financiero para mantenimiento (Item 1)	Proyectos de beneficio para la comunidad (Item 2)	Puntaje
1	FIAES, CRC	0	50	50
2	FIAES, CRC	0	50	50
3	FIAES, CRC	0	50	50
4	FIAES, CRC	0	50	50
5	FIAES, CRC	0	50	50
<b>Puntaje Promedio</b>		<b>0</b>	<b>50</b>	<b>50</b>
<b>Puntaje máximo</b>		<b>50</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

En este caso se puede observar que no hay apoyo financiero para el mantenimiento de los biodigestores por parte del gobierno. También podemos observar que la construcción de los biodigestores fue financiada por un organismo no gubernamental. La comunidad si se ha visto beneficiada por otros proyectos como agua potable y educación.

## II. Financiamiento para asesorías técnicas post- implantación.

**Tabla 2.20. Resultados obtenidos para la variable apoyo institucional**

N° Encuesta	Importancia asesoría	Asesoría técnica post-construcción (Ítem 1)	Duración de la asesoría técnica (Ítem 2)	Capacidad de resolver problemas por Ase.Téc. (Ítem 3)	Conocimiento asesoría técnica (Ítem 4)	Puntaje
1	Muy importante	25	25	25	25	100
2	Muy importante	25	25	25	25	100
3	Muy importante	25	25	25	25	100
4	Muy importante	25	25	25	25	100
5	Muy importante	25	25	25	25	100
Puntaje Promedio		25	25	25	25	100
Puntaje Máximo		25	25	25	25	100

Como podemos observar en la tabla 2.20, la variable asesoría técnica en estos biodigestores domésticos se puede considerar como excelente, pues los usuarios han tenido asesoría técnica por más de un año después de construidos los biodigestores lo que ha contribuido a que estos se encuentren operando.

## III. Nivel económico de las familias

**Tabla 2.21(a). Resultados obtenidos para la variable nivel económico de las familias**

N° Encuesta	Miembros Familia	Actividad Económica	Mejora en la economía familiar	Capacidad para costear reparaciones (Ítem 1)
1	6	Agricultura	Ahorro en compra de leña	0
2	11	Agricultura	Ahorro en compra de gas y leña	100
3	6	Agricultura	Ahorro en compra de leña	0
4	9	Agricultura	Ahorro en compra de leña	100
5	5	Educación	Ahorro en compra de leña	100
Puntaje promedio				60
Puntaje máximo				100

**Tabla 2.21(b). Resultados obtenidos para la variable nivel económico de las familias**

Nº Encuesta	tipo vivienda	tipo de piso	agua potable	energía eléctrica
1	Adobe	tierra	no	no
2	Ladrillo	Cemento	no	no
3	Adobe	tierra	no	no
4	Adobe	tierra	no	no
5	Ladrillo	Cemento	no	no

La mayoría de usuarios de estos biodigestores como se puede observar se dedican a la agricultura, son campesinos que siembran granos básicos para su subsistencia y no poseen ganado, en el anexo E se presenta la guía de observación utilizada para determinar el nivel de vida de usuarios de estos biodigestores (tabla 2.21(b)). En un 60% tienen la capacidad financiera para dar mantenimiento al equipo, pero es importante aclarar que para solucionar fallas leves; en caso de fallas graves (como sustitución de barriles) en el equipo mencionaron que no podrían realizarlas. Las familias usuarias expresan que la tecnología del biogas a beneficiado económicamente a la familia ya que invierten menos dinero y tiempo en la compra de leña para la cocción de los alimentos.

#### IV. Educación

**Tabla 2.22. Resultados obtenidos para la variable educación**

Nº Encuesta	Alfabetismo	Grado Académico	Puntaje
1	50	0	50
2	50	37.5	87.5
3	0	0	0
4	0	0	0
5	50	50	100
<b>Puntaje promedio</b>	<b>30</b>	<b>17.5</b>	<b>47.5</b>
<b>Puntaje máximo</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

En la tabla 2.22 se muestra el resultado obtenido al evaluar la variable nivel de educación de los usuarios de los biodigestores, podemos decir que en el ítem 1 que

se refiere al alfabetismo tiene como puntaje máximo 50 puntos de los cuales se obtuvieron 30 puntos, lo cual significa que los usuarios en un poco más de la mitad saben leer y escribir; con respecto al ítem 2 se cubre un 17.5 de 50 puntos lo que indica un cierto grado académico por varios usuarios.

## V. Conciencia social y ambiental

**Tabla 2.23. Resultados obtenidos para la variable conciencia social y ambiental**

Nº Encuesta	Grado de información sobre medio ambiente (Item 1)	Conciencia de la contribución ecológica utilizando biogas (Item 2)	Puntaje
1	50	50	100
2	50	50	100
3	50	50	100
4	50	50	100
5	50	50	100
<b>Puntaje promedio</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
<b>Puntaje máximo</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

En lo referente a la conciencia social y ambiental los usuarios de estos biodigestores conocen y han recibido información sobre medio ambiente y están concientes que al usar la tecnología del biogas están mejorando sus condiciones ambientales, ya que como ellos mencionan se disminuye el uso de leña y así se reduce en cierto grado la deforestación y la contaminación por humo. En la tabla 2.23 se observa que se cumplen en un máximo con esta variable.

## VI. Nivel de Organización en la comunidad

**Tabla 2.24. Resultados obtenidos para la variable nivel de organización en la comunidad**

Nº Encuesta	Grado de información sobre medio ambiente (Item 1)	Conciencia de la contribución ecológica utilizando biogas (Item 2)	Puntaje
1	50	50	100
2	50	50	100
3	50	50	100
4	50	50	100
5	50	50	100
<b>Puntaje promedio</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
<b>Puntaje máximo</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

La comunidad de los usuarios de estos biodigestores no se encuentran organizados en cooperativas pero si poseen una directiva mediante la cual se canalizan algunos de los proyectos que se llevan a cabo en ella.

## VII. Diseño del biodigestor

**Tabla 2.25. Resultados obtenidos para la variable diseño del biodigestor**

N° Encuesta	Tipo de biodigestor	Dimensiones		Satisfacción de demanda (Item 4)	Facilidad operación (Item 5)	Vida útil (Item 6)	Puntaje
		Largo (m)	Ancho (cm)				
1	Barril	2.8	60	0	33.33	11.11	44.44
2	Barril	2.8	60	0	33.33	11.11	44.44
3	Barril	2.8	60	0	0	11.11	11.11
4	Barril	2.8	60	0	33.33	11.11	44.44
5	Barril	2.8	60	0	33.33	11.11	44.44
Puntaje promedio				0	26.66	11.11	37.77
Puntaje máximo				33.33	33.33	33.33	100

La tabla 2.25 nos muestra las deficiencias en el diseño de estos digestores ya que no satisfacen la demanda de las familias, pues son pequeños y por ende de baja producción (0.88 m<sup>3</sup>). En cuanto a la facilidad de operación son muy sencillos por lo que no se les dificulta mucho a los usuarios la operación. La vida útil de estos digestores es de aproximadamente 5 años.

## VIII. Materia prima

**Tabla 2.26. Resultados obtenidos para la variable materia prima**

N° Encuesta	Sustrato utilizado	Problemas en la preparación de mezclas	Facilidad de recolección de materia prima (Item 2)	Disponibilidad de agua (Item 3)	Disponibilidad materia prima (Item 4)	Puntaje
1	Estiércol bovino	Ninguno	33.33	33.33	33.33	100
2	Estiércol bovino	Ninguno	33.33	33.33	33.33	100
3	Estiércol bovino	Ninguno	0	33.33	0	33
4	Estiércol bovino	Falta de equipo de protección	33.33	33.33	0	67
5	Estiércol bovino	Ninguno	33.33	33.33	33.33	100
Puntaje promedio			26.67	33.33	20	80
Puntaje máximo			33.33	33.33	33.33	100

La tabla 2.26 ilustra el comportamiento de la variable materia prima, en general la variable presenta buenos resultados, aunque el ítem 4 referente a la disponibilidad

de materia prima es el más bajo, debido a que es poco el ganado que hay en el lugar, pero que satisface la demanda, pues los digestores nunca han dejado de operar por falta de materia prima, según lo expresado por las familias. El tamaño del equipo influye también ya que un equipo pequeño necesita menos carga de materia prima.

## IX. Uso o aplicación

**Tabla 2.27. Resultados obtenidos para la variable uso o aplicación**

N° Encuesta	Aplicación Biogas (Item 1)	Interés en otros usos (Item 2)	Aplicación adecuada a las necesidades de la familia (Item 3)	Mejora la calidad de vida (Item 4)	Puntaje
1	5	25	20	25	75
2	5	25	10	25	65
3	5	25	20	25	75
4	5	25	0	25	55
5	5	25	10	25	65
<b>Puntaje promedio</b>	<b>5</b>	<b>25</b>	<b>12</b>	<b>25</b>	<b>67</b>
<b>Puntaje máximo</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>100</b>

La única aplicación que los usuarios dan al biogas es para cocción de alimentos y es importante hacer notar que el efluente o bioabono no es aprovechado como tal, ya que no se les ha dado capacitación sobre el uso que pueden darle a éste. Con respecto a la aplicación más adecuada para la familia, podemos observar en la tabla 2.27 que obtuvo casi el 50% del valor máximo para la variable; los usuarios expresaban que el biodigestor cubre una pequeña parte de la demanda para cocción de alimentos y que están muy interesados en que se supliera la demanda de alumbrado pues toda esta comunidad no cuenta con energía eléctrica. Las familias están concientes que el uso de biogas mejora su calidad de vida mejorando la economía, salud y medio ambiente.

## X. Capacitación técnica

**Tabla 2.28. Resultados obtenidos para la variable capacitación técnica**

Nº Encuesta	Problemas de manejo del digestor	Capacitación Técnica (Item 1)	Contenido de Capacitación (Item 2)	Recursos Didácticos (Item 3)	Conocimiento de lugares de adquisición de materiales (Item 4)	Puntaje
1	Rompimiento de tubería	25	16.67	16.67	25	83.34
2	Ninguno	25	16.67	16.67	25	83.34
3	Rompimiento de tubería	25	16.67	16.67	0	58.34
4	Ninguno	25	25	16.67	0	66.67
5	Baja producción	25	16.67	16.67	25	83.34
Puntaje promedio		25	18.34	16.67	15	75.01
Puntaje Máximo		25	25	25	25	100

En general la variable capacitación técnica para estos biodigestores es aceptable, ya que como se puede observar en la tabla 2.28, ningún ítem obtuvo un puntaje bajo, lo que nos sugiere que los aspectos considerados importantes para esta variable fueron tomados en cuenta.

## XI. Condiciones salubres e higiénicas

**Tabla 2.29. Resultados obtenidos para la variable condiciones salubres e higiénicas**

Nº Encuesta	Disminución de insectos (Item 1)	Disminución enfermedades gastrointestinales (Item 2)	Disminución enfermedades respiratorias (Item 3)	Protección personal (Item 4)	Puntaje
1	16.67	0	0	25	41.67
2	0	16.67	16.67	0	33.34
3	0	0	0	12.5	12.5
4	0	0	0	0	0
5	16.67	16.67	16.67	12.5	62.51
Puntaje promedio		6.67	6.67	10	30
Puntaje Máximo		16.67	16.67	50	100

La disminución de enfermedades es poco notoria como se observa en la tabla 2.29. En lo referente a condiciones higiénicas, medidas desde el punto de vista de prácticas higiénicas en la operación, no se aplican pues no se utiliza en muchos casos ni el mínimo de protección, algunos solo utilizan palas para evitar el contacto directo con el estiércol. En el anexo F se encuentran algunas precauciones de seguridad e higiénicas que se deben seguir al utilizar un biodigestor.

## XII. Conservación del medio ambiente

**Tabla 2.30. Resultados obtenidos para la variable conservación del medio ambiente**

N° Encuesta	Disminución en la tala de arboles (Item 1)	Disminución de la contaminación por estiércol (Item 2)	Puntaje
1	30	30	60
2	10	10	20
3	10	30	40
4	10	0	10
5	10	10	20
Puntaje promedio	14	16	30
Puntaje Máximo	50	50	100

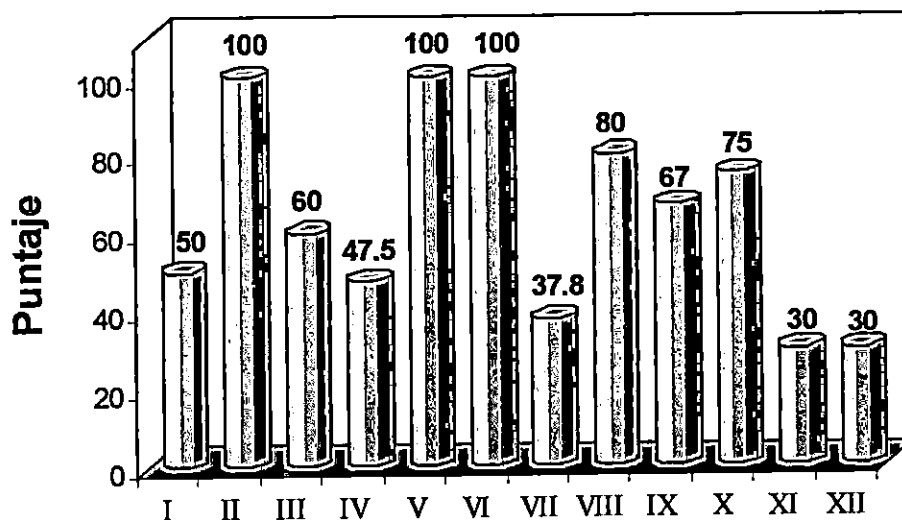
La disminución en el consumo de leña y en la contaminación por estiércol, no es notoria como se observa en la tabla 2.30, esto tiene su origen en que el biodigestor tiene una capacidad baja, por lo tanto los usuarios solo han disminuido un poco el consumo de leña.

Luego de realizar el análisis por variable, presentamos la comparación gráfica entre todas las variables tomando el promedio para cada una de ellas en la tabla 2.31 se presentan dichos promedios.



**Tabla 2.31. Resultados obtenidos para la variables analizadas**

VARIABLE	PROMEDIO
I. Apoyo institucional	50
II. Asesoría técnica post-implantación	100
III. Nivel económico de las familias	60
IV. Educación	47.5
V. Conciencia social y ambiental	100
VI. Nivel de organización de la comunidad	100
VII. Diseño del biodigestor	37.77
VIII. Materia prima	80
IX. Uso o aplicación del biogas	67
X. Capacitación técnica	75
XI. Condiciones salubres e higiénicas	30
XII. Conservación del medio ambiente	30



**Figura 2.3 Comparación de variables para los biodigestores en funcionamiento**

La media aritmética de los promedios de las variables es 64.83, tomando este valor como referencia podemos observar que las variables que requieren mayor atención son:

Variable afectada	Puntaje
I. Apoyo institucional	50
III. Nivel económico de las familias	60
IV. Educación	47.5
VII. Diseño de biodigestores	37.77
XI. Condiciones salubres e higienicas	30
XII. Conservación del medio ambiente	30

#### 4.5.3 ANALISIS DE BIODIGESTORES DOMESTICOS RURALES EN CONSTRUCCION

A continuación se presenta el análisis por variable de cinco encuestas las cuales fueron realizadas tomado a cinco familias beneficiadas con la tecnología del biogás en el área rural, estas representan la totalidad de dieciocho biodigestores construidos. Los criterios utilizados para seleccionar a las cinco familias usuarias de la tecnología del biogás de las dieciocho beneficiadas fueron:

- **Zona geográfica**, ya que en algunos casos el acceso fue imposible, debido principalmente a que los caminos por las lluvias eran intransitables, así también los ríos que habían aumentado su caudal, impidiendo el paso de vehículos.
- **Estado de construcción**, estos biodigestores eran los mas avanzados en el proceso de construcción lo que permitía obtener una visión mas clara de los beneficios a obtener por la familia encuestada.
- **Capacidad de las familias usuarias a responder las encuestas**, debido a que los biodigestores aun estaban en construcción no todos conocían de los beneficios relacionados con la tecnología del biogás, por lo fue un aspecto a considerar al evaluar el instrumento (encuesta).

En las encuestas, se descarta la variable XII la cual es Conservación del Medio Ambiente pues no se puede evaluar el grado de beneficio al medio ambiente al utilizar biogás, hasta que los biodigestores se pongan en marcha.

#### DATOS GENERALES

**Tabla 2.32 Datos generales para biodigestores en construcción**

No	Departamento	Municipio	Nombre de la finca o Hacienda	Entrevistado
1	San Miguel	San Miguel	Particular	Sr. Jose Mario Argueta
2	San Miguel	San Miguel	Particular	Sra. Marlene de Guzmán
3	San Miguel	San Miguel	Particular	Sr. Carlos Sánchez
4	San Miguel	San Miguel	Particular	Sra. Gloria Torres
5	San Miguel	San Miguel	Particular	Sr. Antonio Vasquez

## I. Apoyo financiero

**Tabla 2.33. Resultados obtenidos para la variable apoyo financiero**

Nº Encuesta	Organismo que financió el proyecto de biogas	Apoyo financiero para mantenimiento (Item 1)	Proyectos para la comunidad (Item 2)	Puntaje
1	FONAES	0	50	50
2	FONAES	0	50	50
3	FONAES	0	50	50
4	FONAES	0	50	50
5	FONAES	0	50	50
<b>Puntaje/Promedio</b>		<b>0</b>	<b>50</b>	<b>50</b>
<b>Puntaje Máximo</b>		<b>50</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

De igual manera que para los dos casos analizados anteriormente las familias usuarias de estos biodigestores no reciben ningún tipo de apoyo financiero para mantenimiento de su equipo. Los proyectos en beneficio de la comunidad son llevados a cabo con fines en salud, educación etc.

## II. Financiamiento para asesorías técnicas post-implantación

**Tabla 2.34. Resultados obtenidos para la variable asesorías técnicas post-implantación**

Nº Encuesta	Asesoría Técnica Post-implantación (Item 1)	Conocimiento asesoría técnica (Item 2)	Puntaje
1	0	0	0
2	0	0	0
3	50	50	100
4	50	50	100
5	0	0	0
<b>Puntaje/Promedio</b>		<b>20</b>	<b>40</b>
<b>Promedio Máximo</b>		<b>50</b>	<b>100</b>

La asesoría en estos momentos es mínima, y muchos de las familias desconocen si después de concluido el proyecto podrían contar con ella.

### III. Nivel económico de las familias

Tabla 2.35 (a). Resultados obtenidos para la variable nivel económico de las familias

Nº Encuesta	Miembros Familia	Actividad económica	Capacidad para costear reparaciones (Item 1)
1	5	Agricultura y ganadería	0
2	3	Agricultura y ganadería	0
3	4	Agricultura y ganadería	100
4	2	Agricultura	100
5	7	Agricultura y ganadería	0
<b>Puntaje/Promedio</b>			<b>40</b>
<b>Puntaje Máximo</b>			<b>100</b>

Tabla 2.35 (b). Resultados obtenidos para la variable nivel económico de las familias

Nº Encuesta	tipo vivienda	tipo de piso	agua potable	energía eléctrica
1	Ladrillo	Cemento	no	no
2	Adobe	tierra	no	no
3	Adobe	tierra	no	no
4	Adobe	tierra	no	no
5	Adobe	tierra	no	no

Las personas beneficiadas con este proyecto como se puede observar en el cuadro anterior se dedican en su mayoría a la agricultura y ganadería; en el anexo E se presenta la guía de observación utilizada para determinar las condiciones de vida de los usuarios de la tecnología (tabla 2.35(b)). La capacidad económica para costear gastos de reparación es del 40 % lo que nos indica que la mayoría de los usuarios no tienen la capacidad económica para costear reparaciones en sus equipos. Es importante destacar que las personas están concientes del ahorro familiar que el biogas les proporcionará.

#### IV. Educación

**Tabla 2.36. Resultados obtenidos para la variable educación**

Nº Encuesta	Alfabetismo (Item 1)	Grado académico (Item 2)	Puntaje
1	50	20	70
2	50	20	70
3	50	30	80
4	50	30	80
5	50	10	60
<b>Puntaje/Promedio</b>	<b>50</b>	<b>22</b>	<b>72</b>
<b>Puntaje máximo</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

Como se puede observar en la tabla 2.36 todos los usuarios saben leer y escribir, pero en su mayoría no poseen grado académico, lo cual podría ser una limitante en la comprensión de la tecnología del biogas.

#### V. Conciencia social y ambiental

**Tabla 2.37. Resultados obtenidos para la variable conciencia social y ambiental**

Nº Encuestas	Grado de Información sobre medio ambiente (Item 1)	Conciencia de la contribución ecológica utilizando biogas (Item 2)	Puntaje
1	50	50	100
2	50	50	100
3	50	50	100
4	50	50	100
5	50	50	100
<b>Puntaje promedio</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
<b>Puntaje máximo</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

Como podemos observar en la tabla anterior los personas comprenden lo importante que es el medio ambiente, y la contribución que la tecnología del biogas ofrece y les ofrecerá luego de construido.

## VI. Nivel de organización de la comunidad

**Tabla 2.38. Resultados obtenidos para la variable nivel de organización de la comunidad**

Nº Encuesta	Organización campesina
1	0
2	0
3	100
4	100
5	100
<b>Puntaje promedio</b>	<b>60</b>
<b>Puntaje máximo</b>	<b>100</b>

Las personas pertenecen a directivas y no a cooperativas, esta vela por el bienestar de su comunidad y se canaliza por medio de ella los proyectos de ayuda a su comunidad, en su mayoría los usuarios de los digestores familiares forman parte de ella.

## VII. Diseño del Biodigestor

**Tabla 2.39. Resultados obtenidos para la variable diseño del biodigestor**

Nº Encuesta	Tipo de biodigestor	Dimensiones		Vida útil (Item 1)
		Largo (m)	Ancho (m)	
1	Media bolsa	9	1.5	100
2	Media bolsa	9	1.5	100
3	De bolsa	7	1.5	66.66
4	De bolsa	7	1.5	66.66
5	De bolsa	7	1.5	66.66
<b>Puntaje/Promedio</b>				<b>80</b>
<b>Puntaje máximo</b>				<b>100</b>

Los usuarios de los biodigestores son conocedores de todos los aspectos relacionados al diseño ya que ellos mismos en algunos casos han trabajado realizando la construcción. Los biodigestores les permitirán obtener 2 m<sup>3</sup> de gas diario por lo que podrán cubrir sus necesidades diarias de cocina. El tiempo de vida útil de estos digestores sobrepasa los cinco años.

## VIII. Materia prima

**Tabla 2.40. Resultados obtenidos para la variable materia prima**

No Encuesta	Sustrato a utilizar	Facilidad de recolección de materia prima (Item 1)	Disponibilidad de agua (Item 2)	Disponibilidad de materia prima (Item 3)	Puntaje
1	Estiercol bovino y porcino	33.33	33.33	33.33	100
2	Estiercol bovino y porcino	33.33	33.33	33.33	100
3	Estiercol bovino	33.33	33.33	33.33	100
4	Estiercol bovino	33.33	33.33	33.33	100
5	Estiercol bovino y porcino	33.33	22.22	33.33	90
<b>Puntaje Promedio</b>		<b>33.33</b>	<b>31.11</b>	<b>33.33</b>	<b>98</b>
<b>Puntaje máximo</b>		<b>33.33</b>	<b>33.33</b>	<b>33.33</b>	<b>100</b>

En la zona donde se encuentran ubicados los biodigestores, hay facilidad y disponibilidad de recolección de la materia prima, los propietarios construirán corrales para guardar a los animales y ahí recolectar la materia prima. Cuentan también con fuentes de agua cercanas a la vivienda donde se ubica el biodigestor aunque en la gráfica se observa baja, no es factor limitante en el manejo del biodigestor.

## IX. Uso o aplicación

**Tabla 2.41. Resultados obtenidos para la variable uso o aplicación**

Nº Encuesta	Aplicación y usos del biogas	Inferés en otros usos (Item 1)
1	cocina y bioabono	100
2	cocina	100
3	cocina y bioabono	100
4	cocina y bioabono	100
5	cocina	100
<b>Puntaje promedio</b>		<b>100</b>
<b>Puntaje máximo</b>		<b>100</b>

Las personas propietarias de los biodigestores muestran especial interés en utilizar el biogas en diversos usos que les proporcionarían beneficios tanto económicos como de aumento en la calidad de vida, es importante destacar que la capacidad de estos

biodigestores (2 m<sup>3</sup>) lo que les permitiría satisfacer otras necesidades como alumbrado.

## X. Capacitación técnica

**Tabla 2.42. Resultados obtenidos para la variable capacitación técnica**

Nº Encuesta	Capacitación Técnica (Ítem 1)	Contenido de la Capacitación (Ítem 2)	Recursos Didácticos (Ítem 3)	Conocimiento de lugares de adquisición de materiales (Ítem 4)	Puntaje
1	0	15	25	25	65
2	25	15	25	25	90
3	0	0	25	25	50
4	25	15	25	25	90
5	25	20	25	25	95
<b>Puntaje promedio</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>78</b>
<b>Puntaje máximo</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>100</b>

Como puede observarse en general la variable muestra un comportamiento aceptable las personas saben a quien acudir en caso de cualquier falla en su biodigestor, donde comprar algún repuesto. El ítem 2 correspondiente al contenido de la capacitación técnica es el que presenta más bajo puntaje. Los recursos didácticos utilizados fueron variados y de fácil comprensión por los usuarios lo cual es reflejado en la gráfica obteniendo el máximo puntaje.

## XI. Condiciones salubres e higiénicas

**Tabla 2.43. Resultados obtenidos para la variable condiciones salubres e higiénicas**

Nº Encuesta	Proteccion personal (Ítem 1)
1	40
2	40
3	20
4	20
5	41
<b>Puntaje promedio</b>	<b>32</b>
<b>Puntaje Máximo</b>	<b>100</b>

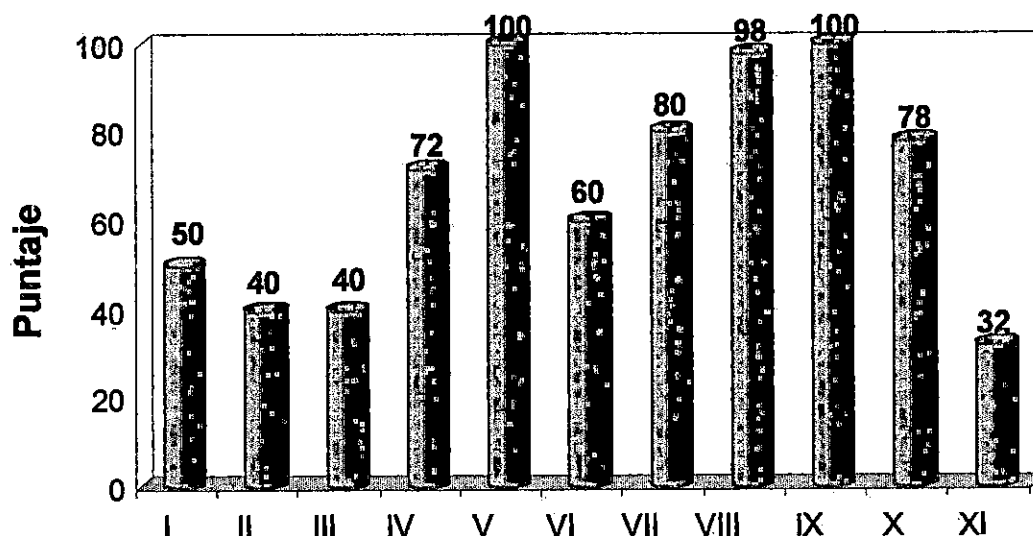
En este caso como podemos observar los resultados obtenidos en el cuadro anterior, no se guardan las medidas mínimas necesarias para operar el digestor, lo que puede traer como consecuencia enfermedades infecciosas. En el anexo F se presentan algunas medidas de seguridad e higiene para operar el digestor.



A continuación se presenta los promedios de puntajes por variable.

**Tabla 2.44 Promedios obtenidos para las variables analizadas para el caso de biodigestores en construcción**

VARIABLE	PROMEDIO
I. Apoyo institucional	50
II. Asesoría técnica post-implantación	40
III. Nivel económico de las familias	40
IV. Educación	72
V. Conciencia social y ambiental	100
VI. Nivel de organización de la comunidad	60
VII. Diseño del biodigestor	80
VIII. Materia prima	96.8
IX. Uso o aplicación del biogas	100
X. Capacitación técnica	78
XI. Condiciones salubres e higiénicas	32



**Figura 2.4 Comparación de variables para lo biodigestores en construcción.**

En la figura 2.4 podemos observar los resultados de todas las variables, la media aritmética de los promedios es de 68.07, por lo que tomando este valor como el mínimo aceptable, podemos afirmar que las variables que requieren mayor atención:

Variable afectada	Puntaje
I. Apoyo Institucional	50
II. Asesorías post – implantación	40
III. Nivel económico de las familias	40
VI. Nivel de organización de la comunidad	60
XI Condiciones salubres e higiénicas	32

### **CAPITULO III. DIAGNOSTICO Y PERSPECTIVAS DE LA TECNOLOGÍA DEL BIOGAS.**

#### **1. ANALISIS DE RESULTADOS DE BIODIGESTORES UBICADOS EN LAS FAMILIAS DEL AREA RURAL DE EL SALVADOR.**

En este capitulo se proporcionara un análisis de las variables que se consideran determinantes en la tecnología del biogas aplicada en este sector.

Para realizar este análisis se tomó como base el análisis estadístico presentado en el capitulo II en el que se describe cuantitativamente el estado de las variables involucradas en el estado de la tecnología del biogas.

El análisis se realiza con la ayuda de figuras, los cuales son generados tomando los puntajes promedios obtenidos por las variables en el análisis estadístico, por cada caso estudiado:

- a) CASO I: Biodigestores domésticos rurales en desuso
- b) CASO II: Biodigestores domésticos rurales en funcionamiento
- c) CASO III: Biodigestores domésticos rurales en construcción

Los casos estudiados permiten tener una mejor visión del estado de la tecnología y su comparación permite determinar el comportamiento de las variables influyentes en el desarrollo de la tecnología del biogas en este sector de la zona rural.

La situación actual de los biodigestores domésticos rurales existentes en El Salvador es el resultado de una evolución histórica, de un pasado influyente y de un trabajo presente en esta área, todo lo anterior fue investigado por medio de tres tipo de encuestas, adecuadas a cada caso.

- En el caso de los biodigestores domésticos rurales en desuso se necesitaban conocer las causas que provocaron su fracaso. Causas o errores que se presentaron durante el proyecto deben ser tomados en cuenta en la actualidad para la ejecución de nuevos proyectos tanto actuales como futuros. Otros aspectos a tomar en cuenta son los factores positivos que contribuyeron al auge de la tecnología en aquella época aplicada en familias rurales.
- En el caso de los biodigestores domésticos rurales en funcionamiento se determinó la situación actual, en aspectos que condujeran a fallos que se presentan actualmente y sobre todo tratar de proponer soluciones para evitar problemas que pudieron ser causa del fracaso en el pasado. Así mismo tratar de determinar avances o mejoras que se han tenido con respecto al pasado.
- Para el caso de los biodigestores en construcción, se investigó como se están desarrollando los proyectos de biogas para lograr implementar con éxito la tecnología.

## **I. Apoyo Institucional**

Los indicadores evaluados estadísticamente para describir el estado de esta variable nos permitieron conocer los organismos que dan apoyo económico a las familias de los biodigestores. Los indicadores utilizados son los siguientes:

1. Quien financió el proyecto
2. Apoyo financiero para mantenimiento
3. Realización de otros proyectos en beneficio de la comunidad

### **Biodigestores domésticos rurales en desuso**

La variable de apoyo institucional en el pasado no tuvo ningún tipo de presencia. La participación del gobierno en proyectos para las zonas rurales donde se ubicaban los biodigestores fue deficiente, lo cual pudo deberse a la guerra en algunos casos. Esta

falta de presencia por parte del estado se manifestó en falta de apoyo financiero para seguimiento de los proyectos y mantenimiento de la tecnología luego de su instalación. También se manifestó por la falta de proyectos en beneficio del desarrollo de la comunidad tales como salud, energía eléctrica, educación.

### **Biodigestores domésticos rurales en funcionamiento**

Los resultados obtenidos por esta variable han mejorado en comparación con los biodigestores en desuso. Se han desarrollado proyectos en beneficio de la comunidad orientados al bienestar de la salud, educación y medio ambiente. Con respecto al proyecto de biogas, no se ha recibido apoyo por parte del estado para el desarrollo, seguimiento y mantenimiento de la tecnología.

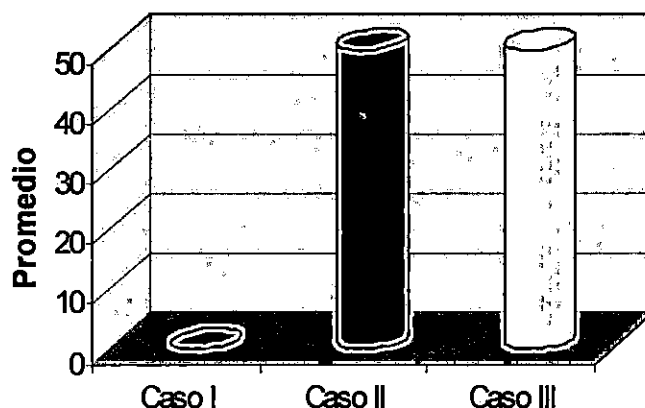
### **Biodigestores domésticos rurales en construcción**

En la actualidad al igual que en los biodigestores en funcionamiento se han desarrollado proyectos que benefician la zona rural donde se encuentran ubicado los biodigestores.

Del análisis de resultados obtenidos en el capítulo II, se presentan en la tabla 3.1 el resumen de los promedios obtenidos para la variable apoyo institucional para cada caso de biodigestores.

**Tabla 3.1 Resultados obtenidos para la variable apoyo institucional**

Casos		Promedios
Caso I	Biodigestores domésticos rurales en desuso	0
Caso II	Biodigestores domésticos rurales en funcionamiento	50
Caso III	Biodigestores domésticos rurales en construcción	50



**Figura 3.1 Comparación de resultados variable apoyo institucional para los tres casos de biodigestores domésticos rurales.**

La figura 3.1 se observa para los caso II y III promedios arriba del 50% debido en que en ellos se realizaron proyectos en beneficio para la comunidad a la que pertenecen las familias rurales, a diferencia en el caso I que no hubo ningún tipo de proyectos en beneficio de la comunidad.

Para los tres casos no hubo apoyo financiero para programas de seguimiento y mantenimiento para los biodigestores. En la actualidad los proyectos de biogas han sido financiados por el FIAES (Fondo de Inversión de las Américas) y FONAES (Fondo Ambiental de El Salvador) que son organismos creados por el estado para canalizar donaciones de otros países, mediante proyectos de desarrollo de la comunidad como es el caso del biogas.

## **II. Financiamiento para asesorías técnicas post – implantación**

Para la evaluación de esta variable fueron tomados en cuenta indicadores que permitieron medir estadísticamente la falta de asesorías técnicas las cuales son necesarias para el buen manejo del equipo.

Los indicadores a tomar en cuenta son:

1. Asesorías técnicas luego de instalado el equipo



Let the length of the cylinder be  $l$  and the radius be  $r$ . The area of the curved surface of the cylinder is  $2\pi r l$ . The area of the two circular bases is  $2\pi r^2$ . The total surface area of the cylinder is  $2\pi r l + 2\pi r^2$ .

Let the radius of the cone be  $r$  and the height be  $h$ . The slant height of the cone is  $\sqrt{r^2 + h^2}$ . The area of the curved surface of the cone is  $\pi r \sqrt{r^2 + h^2}$ . The area of the circular base is  $\pi r^2$ . The total surface area of the cone is  $\pi r \sqrt{r^2 + h^2} + \pi r^2$ .

Let the radius of the cylinder be  $r$  and the height be  $h$ .

The area of the curved surface of the cylinder is  $2\pi r h$ . The area of the two circular bases is  $2\pi r^2$ . The total surface area of the cylinder is  $2\pi r h + 2\pi r^2$ .

2. Tiempo de asesorías
3. Resolución de problemas mecánicos gracias a las asesorías técnicas
4. En caso de fallas saber a quien acudir
5. Importancia de asesorías para el buen funcionamiento del biodigestor

### **Biodigestores domésticos rurales en Desuso**

1. Los usuarios de éstos en desuso nunca recibieron una asesoría técnica sistemática, lo anterior influyó en el funcionamiento duradero del equipo.
2. No se tenía la capacidad adecuada para resolver problemas técnicos por la falta de asesoría. Los usuarios únicamente sabían a quien acudir en caso de fallas, pero debido al abandono que sufrieron por parte de los que llevaron acabo el proyecto no fue posible la continuidad. También existieron causas como la guerra en algunos casos que no permitieron el seguimiento de la tecnología ya que las personas tuvieron que emigrar de sus viviendas dejando aun lado los beneficios que la tecnología en algún momento pudo brindarles.

### **Biodigestores domésticos rurales en funcionamiento**

1. La asesoría técnica ha tenido una exitosa evolución, ya que existe una presencia sistemática por parte del CRC (Comité de Reconstrucción y Desarrollo Económico y Social de la comunidad de Suchitoto) en la Comunidad de las Delicias, Suchitoto, aún después de llevado a cabo el proyecto de las cocinas.
2. Existe un seguimiento y acompañamiento para la comunidad, mientras el proyecto se vuelve sostenible.

### **Biodigestores domésticos rurales en construcción**

Los biodigestores en etapa de construcción, representa una inversión bastante elevada ya que son dieciocho biodigestores con una capacidad de 2 m<sup>3</sup>, por lo que es necesaria una asesoría técnica de tipo sistemática. Los usuarios expresan

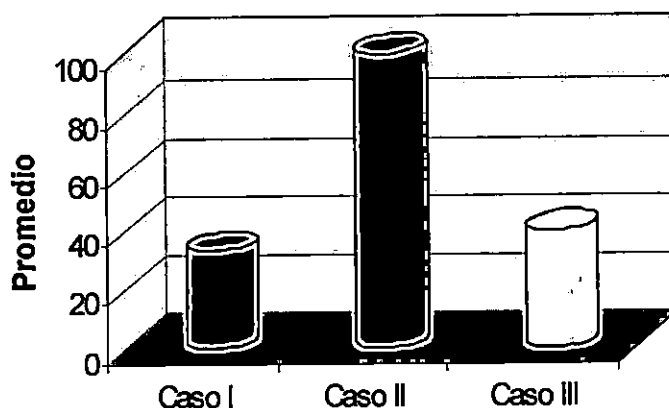
ciertas deficiencias en las asesorías, lo que no asegura el buen uso y funcionamiento de la tecnología del biogas en el futuro.

De lo anterior se concluye que las asesorías técnicas deben tener como mínimo un lapso de 6 meses en los cuales deben realizarse visitas periódicamente a los lugares donde se encuentren ubicados los biodigestores y así garantizar un buen funcionamiento y duración del biodigestor.

En la tabla 3.2 se presenta el puntaje promedio de la variable asesorías técnicas post - implantación en los tres casos de biodigestores investigados.

**Tabla 3.2 Resultados obtenidos para la variable financiamiento para asesorías técnicas post – implantación**

Casos		Promedios
Caso I	Biodigestores domésticos rurales en desuso	33.33
Caso II	Biodigestores domésticos rurales en funcionamiento	100
Caso III	Biodigestores domésticos rurales en construcción	40



**Figura 3.2 Comparación de resultados para la variable asesoría técnica post implantación para los tres casos de biodigestores domésticos rurales.**



La figura 3.2 se puede observar la para la deficiencia para la variable en los casos I y II los cuales se deben a que no se recibió o no se esta recibiendo una asesoría técnica sistemática que permita un buen funcionamiento de la tecnología del biogas. El caso II obtuvo el máximo puntaje ya que la asesoría recibida es oportuna y sistemática por parte del organismo encargado del proyecto (CRC Comité de Reconstrucción y Desarrollo Económico y Social de la comunidad de Suchitoto)).

### **III. Nivel económico de las familias rurales**

Los indicadores evaluados estadísticamente para describir el estado de esta variable nos permitieron conocer las condiciones de vida de los propietarios de los biodigestores y determinar así la capacidad de costear reparaciones de los biodigestores. Los indicadores utilizados son los siguientes:

1. Trabajo a que se dedica la familiar
2. Capacidad económica para costear reparaciones
3. Contribución de la tecnología del biogas a la economía familiar.

#### **Biodigestores domésticos rurales en desuso**

1. Falta de recursos económicos para financiar reparaciones.
2. Los propietarios experimentaron cierta economía familiar ya que por un tiempo fueron beneficiados con biogas.
3. Los factores determinantes para que fuera abandonada la tecnología del biogas fueron la falta de recursos económicos y también en un caso el conflicto armado.

#### **Biodigestores domésticos rurales en funcionamiento**

Dentro del estudio estadístico se realizaron observaciones que permitieron conocer el estado económico de la comunidad y de sus integrantes.

1. Con respecto a las viviendas de los pobladores el 40% son de bahareque con piso de tierra y el 60% son de ladrillo con piso de cemento, todas presentan techos de tejas.
2. Las viviendas no tienen el servicio de agua por tubería sino que poseen pozo propio, no cuentan con el servicio de energía eléctrica y no hay servicio de buses, por lo recorren largas distancias para llegar hasta el municipio de Suchitoto.
3. Los biodigestores en funcionamiento han proporcionado beneficios a los usuarios permitiéndoles experimentar una mejora en la economía familiar, pues se ha disminuido el tiempo invertido en cocinar con leña y se ahorra dinero para la compra de la misma.
4. Los usuarios manifiestan tener capacidad para realizar reparaciones leves, ya que algunas las partes de las cuales están compuestos los biodigestor son sencillas y de fácil acceso de compra. Lo anterior es un buen indicativo ya que la tecnología del biogas está más al alcance de las condiciones económicas de los usuarios, asegurando su utilización.

### **Biodigestores domésticos rurales en construcción**

Al igual que en el caso anterior se realizaron observaciones con respecto a la comunidad y a sus integrantes encontrándose que:

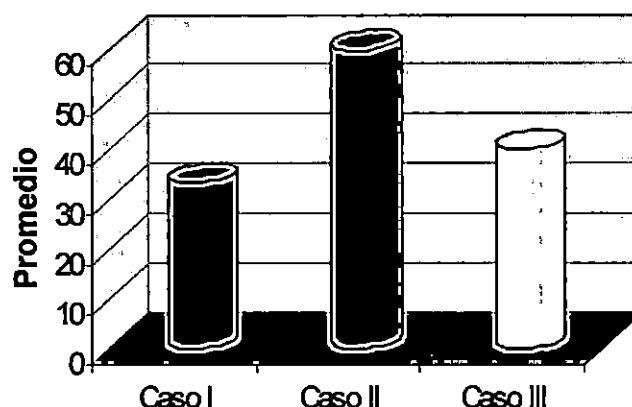
1. El 20% posee casas de bahareque con espacio de tierra y el 80% posee casas de ladrillo con piso de cemento y techos de teja, con respecto al agua no poseen servicio de tubería sino que cuentan con pozos propios, la comunidad no cuenta con servicio de energía eléctrica.
2. La comunidad presenta deficiencias con respecto al servicio de salud ya que no cuenta con una clínica que les preste el servicio, en caso de alguna emergencia tiene que recurrir a la unidad de salud del municipio. El acceso a la comunidad se dificulta ya que el servicio de buses es irregular.
3. Los propietarios de los biodigestores en construcción sólo un 40% dice poder reparar las fallas lo que de alguna manera limitaría el seguimiento de la

tecnología del biogas. Se tendrán que buscar mecanismos antes de concluir el proyecto, que permitan eliminar la posibilidad de que este sea un factor determinante para el mal desarrollo de la tecnología del biogas.

En la tabla 3.3 se presenta el puntaje promedio de la variable nivel económico de las familias en los tres casos de biodigestores investigados.

**Tabla 3.3 Resultados obtenidos para la variable nivel económico de las familias**

Casos		Promedios
Caso I	Biodigestores domésticos rurales en desuso	33.33
Caso II	Biodigestores domésticos rurales en funcionamiento	60
Caso III	Biodigestores domésticos rurales en construcción	40



**Figura 3.3 Comparación de resultados la variable nivel económico de las familias para los tres casos de biodigestores domésticos rurales.**

En el caso I de alguna manera el aspecto económico fue una limitante para el buen desarrollo de la tecnología, no así para el caso II que el biodigestor por la facilidad de realizar alguna reparación no incurriendo en gastos elevados de reparación.

Tomando como parámetro el caso I, la variable nivel económico puede ser muy influyente en el desarrollo de la tecnología del biogas, causando el abandono de los biodigestores ante algún desperfecto que requiera una inversión elevada.

#### **IV. Educación**

La variable educación se analizó tomando indicadores evaluados estadísticamente los cuales proporcionaron el porcentaje de analfabetismo en las áreas rurales estudiadas. Los indicadores utilizados para realizar la evaluación son:

1. Conocer si los usuarios sabían leer y escribir
2. Grado académico de los usuarios

#### **Biodigestores domésticos rurales en desuso**

Todos los usuarios eran alfabetos y poseían cierto grado académico lo que contribuyó a la comprensión del funcionamiento de los equipos y la capacitación de las personas que instalaron el equipo permitió también un buen nivel de conocimiento de operación. La falta de grado académico no fue factor determinante en el abandono de la tecnología del biogas.

#### **Biodigestores domésticos rurales en funcionamiento**

Para los biodigestores en funcionamiento en el área de Suchitoto un 30% de las personas saben leer y escribir, es decir que actualmente existe un nivel de analfabetismo del 40% en los usuarios, esto provoca dificultades en las capacitaciones, ya que para estas personas la asimilación de los conocimientos es vía oral únicamente lo que no asegura su total entendimiento. El grado académico como es de suponerse es muy bajo, es del 17.5%, ya que han ido a lo sumo a 6º grado de enseñanza básica. Esto actualmente puede ser una limitante para la comprensión de conceptos científicos sobre la tecnología del biogas.

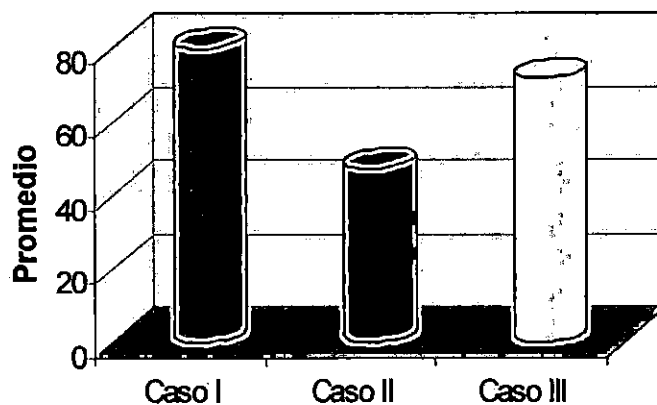
## Biodigestores domésticos rurales en construcción

En el caso de los usuarios de los nuevos biodigestores se tiene que en su mayoría saben leer, escribir, siendo de gran ventaja para la asimilación de la capacitación y de conceptos técnicos que les permitirán una mayor comprensión de la tecnología del biogas.

El nivel de educación es importante para una mejor comprensión del funcionamiento de la tecnología del biogas, permite también una mejor asimilación de las capacitaciones otorgadas por los técnicos encargados del proyecto. En la tabla 3.4 se presentan los puntajes promedios obtenidos de la variable educación.

**Tabla 3.4 Resultados obtenidos para la variable educación**

Casos		Promedios
Caso I	Biodigestores domésticos rurales en desuso	80
Caso II	Biodigestores domésticos rurales en funcionamiento	47.5
Caso III	Biodigestores domésticos rurales en construcción	72



**Figura 3.4 Comparación de resultados para la variable educación para los tres casos de biodigestores domésticos rurales.**

En la figura 3.4 se puede observar que el nivel de educación de las personas usuarias de la tecnología del biogas no es tan bajo ya que la mayoría comprende los beneficios que la tecnología del biogas les provee tanto a su economía familiar como a la conservación del medio ambiente en cierto grado.

## **V. Conciencia social y ambiental**

La conciencia social y ambiental es una variable que se midió tomando en cuenta indicadores que nos permitieron conocer la percepción de los usuarios sobre la protección del medio ambiente al utilizar la tecnología del biogas. Los indicadores utilizados son:

1. Tipo de información recibida sobre medio ambiente
2. Contribución del medio ambiente al utilizar biogas

### **Biodigestores domésticos rurales en Desuso**

Los usuarios nunca recibieron ningún tipo de información formal, charlas, etc. que proporcionará conocimientos sobre las medidas a seguir para la protección del medio ambiente.

Sin embargo los propietarios de los biodigestores conocían sobre el beneficio al medio ambiente al utilizar la tecnología del biogas, mencionando la disminución que con el biogas se obtiene en cuanto a deforestación, humo y contaminación por estiércol.

### **Biodigestores domésticos rurales en funcionamiento**

A través de los años se ha tenido una asombrosa mejora en cuanto a la proporción de información relacionada con el medio ambiente. En Suchitoto se están llevando a cabo proyectos de reforestación por lo que se ha llegado a comprender la importancia de enseñar a los campesinos a cuidar su medio ambiente y su salud. El proyecto de biogas en Suchitoto tiene como objetivo complementar proyectos de

reforestación, ya que las cocinas de biogas constituyen una herramienta para prevenir la deforestación.

Lo anterior da como resultado una conciencia clara del beneficio ambiental de usar biogas en lugar de leña por parte de los usuarios, tal y como ellos lo manifiestan:

- a) No se deforesta
- b) Se elimina el desperdicio orgánico de los animales evitando enfermedades infecciosas y
- c) No se desprende humo al aire.

La falta de conciencia social y ambiental no es de ninguna forma un problema, pues las personas en la actualidad se muestran receptivas al proporcionarles información sobre el medio ambiente.

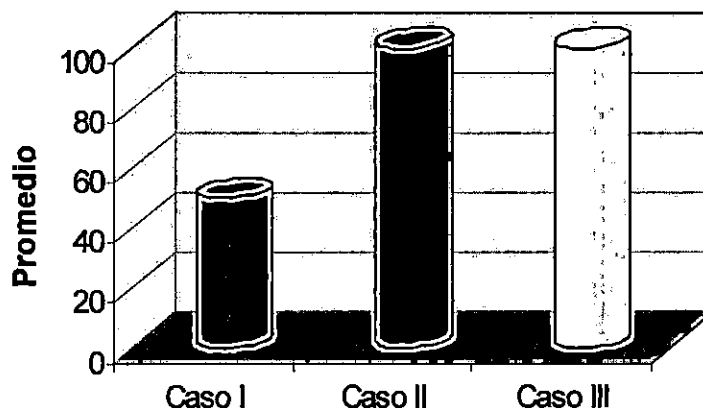
### **Biodigestores domésticos rurales en construcción**

Las personas propietarias de los biodigestores están consientes de los beneficios que al medio ambiente proporciona el utilizar la tecnología del biogas.

En la tabla 3.5 se presentan los promedios obtenidos por la variable conciencia social y ambiental.

**Tabla 3.5 Resultados obtenidos para la variable conciencia social y ambiental**

Casos		Promedios
Caso I	Biodigestores domésticos rurales en desuso	50
Caso II	Biodigestores domésticos rurales en funcionamiento	100
Caso III	Biodigestores domésticos rurales en construcción	100



**Figura 3.5 Comparación de resultados para la variable Conciencia social y ambiental para tres los casos de biodigestores domésticos rurales.**

En la Figura 3.5 observa que en el caso I la variable no alcanzó la máxima puntuación debido a la falta de mecanismos que permitieran dar mayor información sobre el medio ambiente, aunque los propietarios conocían los beneficios que la tecnología del biogas proporcionaba al medio ambiente. En los casos II y III se les proporciono información sobre el medio ambiente y las personas están consientes de los beneficios de la tecnología del biogas.

Los resultados obtenidos para esta variable contribuyen al buen desarrollo de la tecnología, ya que una mayor conciencia ambiental promueve la aceptación y uso de la misma.

## **VI. Nivel de organización de la comunidad**

El nivel de organización de una comunidad es una variable importante ya que de esta manera se desarrollan mejor los proyectos, hay mayor apertura a nuevas tecnologías y una mayor capacidad de resolución de problemas. Esta variable permite conocer como están organizados los usuarios de los biodigestores.

El indicador que se utilizo para evaluar esta variables fue:



- El tipo de organización a que pertenece

### **Biodigestores domésticos rurales en desuso**

Los usuarios de estos biodigestores no pertenecían a organizaciones, a excepción de los usuarios del biodigestor de Santa Lucía Orcoyo que es una Cooperativa del Sector Reformado. Es importante destacar que estos proyectos se llevaron a cabo de forma aislada tanto en el tiempo como en las distancias entre ellos.

### **Biodigestores domésticos rurales en funcionamiento**

No se encuentran asociados en cooperativas pero toda la comunidad de Las Delicias, en Suchitoto posee una directiva a través de la cual gestionan y resuelven los problemas en común. Esto es beneficioso ya que de esta manera hay mayor probabilidad de contactar técnicos, para que se resuelvan problemas de mayor magnitud en sus biodigestores.

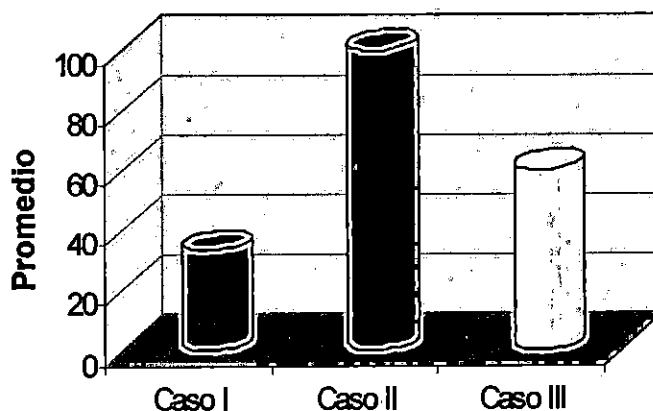
### **Biodigestores domésticos rurales en construcción**

Los usuarios de biodigestores en San Miguel no están completamente integrados, solamente algunos pertenecen a la directiva y es ésta la que en determinado momento decide el rumbo a seguir para solucionar sus problemas.

En la tabla 3.6 se presenta los promedios obtenidos en el análisis estadístico realizado para la variable nivel de organización de la comunidad.

**Tabla 3.6 Resultados obtenidos para la variable nivel de organización de la comunidad**

Casos		Promedios
Caso I	Biodigestores domésticos rurales en desuso	33.33
Caso II	Biodigestores domésticos rurales en funcionamiento	100
Caso III	Biodigestores domésticos rurales en construcción	60



**Figura 3.6 Comparación de resultados para la variable nivel de organización de la comunidad para los tres casos de biodigestores domésticos rurales.**

Como se puede observar en el figura 3.6 el nivel de organización de la comunidad en el caso II obtuvo la máxima puntuación, ya que por medio de la directiva se regula y trata de resolver cualquier problema que se pueda presentar. En el caso I y III presentan deficiencia ya que no poseen una organización adecuada.

## **VII. Diseño del biodigestor**

El análisis de los resultados estadísticos comprende los siguientes indicadores :

1. Satisfacción de la Demanda de la Familia
2. Facilidad de Operación y
3. Vida Útil

### **Biodigestores domésticos rurales en desuso**

Al analizar los datos estadísticos resultantes de la investigación realizada para biodigestores en estado de abandono en El Salvador se pudo detectar lo siguiente:

1. Todos los usuarios manifestaron que la capacidad de producción de biogas satisfacía sus requerimientos para el uso en el cual lo habían aplicado, esto debido a un buen dimensionamiento de los equipos. Lo anterior contribuía en el

interés de los usuarios para seguir utilizando la tecnología, pues veían satisfechas sus necesidades.

2. Los equipos eran de fácil operación por lo que a los usuarios no les era difícil entender y realizar el manejo del equipo, lo cual favorecía a la continuación de su uso.
3. La vida útil de estos biodigestores era como mínimo de diez años, debido al tipo de diseño de los mismos y a los materiales de los que estaban contruidos que en su mayoría eran de ladrillo, cemento, hierro y arena.
4. Los diseños de estos biodigestores cumplían bien con los indicadores considerados, se puede concluir que no fue la variable de diseño de biodigestor causante del abandono de la tecnología en el pasado.

### **Biodigestores domésticos rurales en Funcionamiento**

El análisis de resultados para el caso de los biodigestores actualmente en funcionamiento demuestra lo siguiente:

1. En cuanto a la satisfacción de la demanda la capacidad del biodigestor no cubre los requerimientos de biogas de los usuarios, el equipo tiene una capacidad aproximada de  $0.88 \text{ m}^3$ , lo que permite a los usuarios un máximo de 65 minutos diarios, operando normalmente y cargado cada quince días.
2. La escasa capacidad se debe a que este proyecto de biodigestores constituye una prueba piloto para observar el desarrollo de la tecnología en la zona.
3. En la operación y manejo de los equipos, los usuarios manifiestan que son fáciles de operar, a pesar de que la carga con materia prima no es muy sencilla porque el diámetro del ducto de alimentación es muy pequeño (aproximadamente de 10 cm de diámetro).

4. Debido a que estos digestores son solamente prototipos, los materiales con que están contruidos no son muy resistentes, lo que provoca una corta vida útil del equipo de un máximo de cinco años en las mejores condiciones.

En conclusión podemos decir que actualmente el diseño de biodigestores en funcionamiento presenta deficiencias en cuanto a la satisfacción de la demanda y a la vida útil, lo que puede provocar cierta apatía en los usuarios, cuando no consigan satisfacer sus necesidades de cocina y cuando se acabe su corta vida útil, debida a los materiales de construcción. Los usuarios expresan que es de fácil manejo, a pesar de presentar los inconvenientes ya mencionados. Por lo anterior mencionado, la variable diseño de biodigestor obtuvo una evaluación por debajo de la máxima esperada.

### **Biodigestores domésticos rurales en construcción**

Los resultados estadísticos para este caso se limitaron nada más que a la evaluación de la vida útil del equipo, ya que nunca se han puesto en operación y no se conoce realmente que resultados para los usuarios ofrezcan en cuanto a satisfacción de la demanda y facilidad de operación, aunque se prevé que de operar normalmente estos dos tipos de biodigestor producirán un estimado de 2 m<sup>3</sup> o cerca de 6 horas diarias de biogas, con lo que las familias sí podrían satisfacer su demanda de cocción de alimentos.

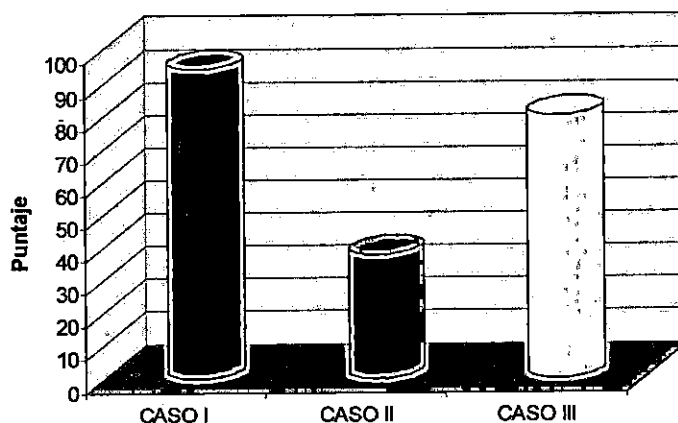
- En cuanto a la facilidad de operación también se prevé que a los usuarios no se les dificultará ya que del establo del ganado saldrá una canaleta hacia la pila de carga del biodigestor, por lo que los usuarios solo tendrán que lavar el establo y así obtendrán su mezcla.
- Los tipos de biodigestor a utilizar son de bolsa y media bolsa. La vida útil estimada de estos biodigestores es de 10 años a más, por lo que de darle un

adecuado mantenimiento los usuarios obtendrán los muchos beneficios que el biogas proporciona.

Del análisis de resultados se presentan en la tabla 3.7 el resumen de los promedios obtenidos para la variable diseño del biodigestor para cada caso de biodigestores.

**Tabla 3.7 Resultados obtenidos para la variable diseño del biodigestor.**

Caso		Promedios
Caso I	Biodigestores domésticos rurales en Desuso	94.43
Caso II	Biodigestores domésticos rurales en Funcionamiento	37.77
Caso III	Biodigestores domésticos rurales en Construcción	80



**Figura 3.7 Comparación de resultados de la variable diseño del biodigestor para los tres casos de biodigestores domésticos rurales.**

En la figura 3.7 se hace una comparación entre los tres casos, mostrando una buena evaluación el Caso I y II, debido que son diseños que tienen una gran capacidad de producción de biogas por su tamaño, que tienen una larga vida útil y que resultan de fácil de operación para los usuarios.

## **VIII. Materia prima**

Los indicadores evaluados estadísticamente para describir el estado de esta variable en los tres casos de biodigestores fueron:

1. Disponibilidad de materia prima
2. Facilidad de Recolección de la materia prima
3. Disponibilidad de agua.

### **Biodigestores domésticos rurales en desuso**

Para el caso de los biodigestores en estado de abandono a través del análisis estadístico, se detectaron los siguientes resultados:

1. La disponibilidad de la materia prima para operar los biodigestores en el pasado no representó un problema, ya que en los lugares donde fueron construidos los biodigestores se presentaba suficiente ganado porcino y bovino (según el caso) para cargar los biodigestores.
2. La disponibilidad de agua era buena en los tres lugares, en cuanto a la recolección de materia prima no representaba problema.

En conclusión podemos decir que la variable materia prima en el pasado de la tecnología del biogas se encontraba en un estado bastante óptimo, gracias a que era disponible y fácil de recolectar.

### **Biodigestores domésticos rurales en funcionamiento**

Analizando los resultados obtenidos a partir del análisis estadístico se puede mencionar con respecto a los indicadores considerados lo siguiente:

1. En el caso II de biodigestores en funcionamiento la disponibilidad de estiércol bovino es poca, ya que ninguno de los usuarios es propietario de ganado en gran cantidad (algunos solo poseen una res) y como ya se mencionó en el estado del

nivel económico son personas de escasos recursos económicos. Sin embargo como la capacidad del biodigestor es pequeña ( $0.88\text{m}^3$ ) los biodigestores nunca han dejado de operar por falta de materia prima, ya que no requiere de una cantidad grande de la misma para operar. Esta deficiencia en cuanto a la disponibilidad de materia prima puede tener efectos tal como defraudar a los usuarios en cuanto a invertir trabajo, por carecer de sustrato para operar y que resulta en no satisfacer su demanda.

2. En cuanto a la facilidad de recolección, se puede decir que la misma escasez de materia prima provoca una dificultad en la recolección de la misma. Esta deficiencia podría desanimar a las personas, aunque ellas expresaban que la recolección de la materia prima no representa un problema.
3. El agua en para los usuarios de los biodigestores no representa problema ya que cuentan con agua abundante proveniente de un pozo.

### **Biodigestores domésticos rurales en construcción**

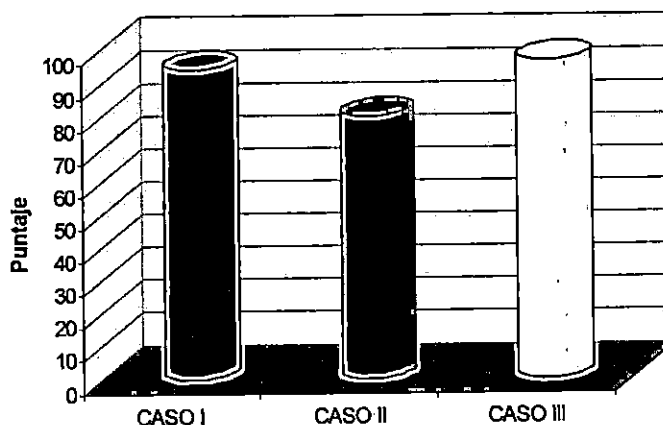
En este caso la disponibilidad de agua y estiércol que es la materia prima o sustrato a utilizar son abundantes. No se cree que esta variable provoque alguna vez problema de escasez en el futuro para los usuarios ya que en su mayoría son propietarios de su ganado.

En la tabla 3.8 se presenta los resultados obtenidos al evaluar la variable materia prima para los tres casos de biodigestores.

**Tabla 3.8 Resultados obtenidos para la variable materia prima**

Caso		Promedios
Caso I	Biodigestores domésticos rurales en Desuso	94.43
Caso II	Biodigestores domésticos rurales en Funcionamiento	80
Caso III	Biodigestores domésticos rurales en Construcción	98

En la Figura 3.8. se muestra una comparación para los tres casos y como puede observarse en realidad la materia prima nunca ha representado un problema para el funcionamiento de los biodigestores.



**Figura 3.8 Comparación de resultados de la variable materia prima para los tres casos de biodigestores domésticos rurales**

## **IX. Uso o aplicación**

En el presente trabajo de investigación una de las variables que se consideró desde los planteamientos iniciales en evaluar fue el uso o aplicación que se le diera al biogas, es decir, cuanto se optimiza el biogas producido en la diversidad de aplicaciones posibles.

Los criterios o indicadores evaluados para determinar el estado de esta variable fueron:

1. Aplicación doméstica del biogas
2. Grado de Interés de los usuarios en otros usos
3. Que la aplicación sea la adecuada para las necesidades de la familia
4. La mejora en la calidad de vida conseguida por la aplicación de biogas.

### **Biodigestores domésticos rurales en desuso**

1. En cuanto a la diversidad de aplicaciones que se le dieron al biogas en el pasado, podemos decir en general que no fue muy amplia, a excepción de un usuario



(biodigestor de la granja La Escondida, Metapán) el cual utilizó el biogas para diferentes usos como cocción de alimentos, alumbrado y bioabono. En los demás casos se utilizó para cocina y bioabono. Los demás usuarios expresaron que tuvieron mucho interés en utilizar el biogas también para alumbrado.

2. El uso que se le daba al biogas era adecuado y satisfacía las expectativas en cuanto a la cocción de alimentos, ya que se mejoraba su calidad de vida, en cuanto a economía. Por lo que consideran que la tecnología del biogas es una ayuda para cualquier persona de la zona rural.

### **Biodigestores domésticos rurales en funcionamiento**

1. La aplicación del biogas producido se debe decir que es muy limitada pues, se ha restringido al uso del biogas únicamente para cocinas. Pero debe aclararse que lo anterior está ligado a la baja producción de biogas.
2. Lamentablemente no se les ha enseñado a los usuarios el beneficio de la utilización de bioabono para sus cosechas, lo cual ayudaría a la optimización de los recursos.
3. La aplicación del biogas se considera bastante adecuada, pero por la falta de satisfacción de la demanda resultó con una baja evaluación.
4. Hay una mejora en la calidad de vida de los usuarios, ya que invierten menos tiempo en la búsqueda de leña y se deforestación menos la zona.

### **Biodigestores domésticos rurales en construcción**

Estos nuevos biodigestores se han proyectado con una buena capacidad de producción y aún cuando esta variable no es tan fácil de evaluar, pues estos equipos aún no se han puesto en marcha, se tiene la certeza que es muy factible aplicar el biogas en todos los usos posibles. Esto se apoya a su vez en el interés por parte de los usuarios en utilizar biogas en diversas aplicaciones (alumbrado y bioabono, principalmente). La utilización que se dará inicialmente se considera muy adecuada a las necesidades de la familia.

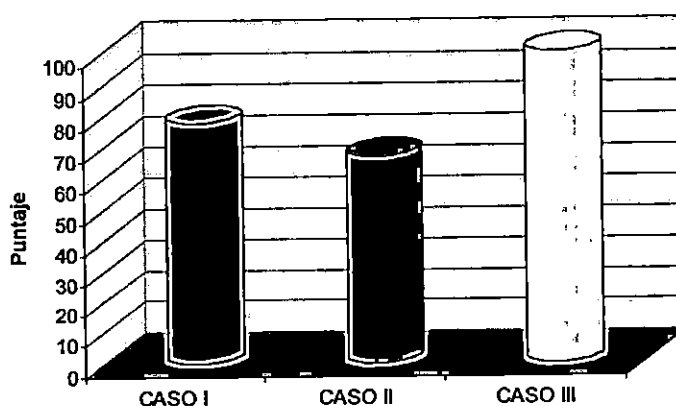
Los usuarios manifiestan que esperan que su calidad de vida mejore pues ya no tendrán que usar leña la cual actualmente la compran ya que la zona en donde habitan esta muy deforestada, por consiguiente tendrán un ahorro de dinero.

En la tabla 3.9 se presentan los promedios para la variable materia prima en los tres casos de biodigestores

**Tabla 3.9 Resultados obtenidos para la variable uso y aplicación**

Caso		Promedios
Caso I	Biodigestores domésticos rurales en Desuso	77.9
Caso II	Biodigestores domésticos rurales en Funcionamiento	67.00
Caso III	Biodigestores domésticos rurales en Construcción	100

En la figura 3.9 se muestra la comparación entre los tres casos y se observa que la variable presenta buenos resultados.



**Figura 3.9 Comparación de resultados de la variable uso y aplicación para los tres casos de biodigestores domésticos rurales**

## X. Capacitación técnica

Durante la construcción, implantación y arranque de los biodigestores es necesario brindar una capacitación técnica a los usuarios, con el objetivo de enseñar todos los

aspectos básicos de la tecnología del biogas como: forma de operación, mantenimiento, algunos problemas comunes, etc. Cuando se brinda una capacitación técnica sistemática, sencilla y completa los resultados obtenidos son: la adecuada operación del equipo por parte del usuario, debido a los conocimientos adquiridos y a la capacidad de solución de problemas.

Los aspectos que se han considerado que debe cumplir una buena capacitación técnica son:

1. Existencia de capacitación técnica
2. Contenido de la capacitación técnica
3. Recursos didácticos utilizados
4. Conocimiento del usuario de los lugares de adquisición de materiales para mantenimiento, operación y reparación del biodigestor.

Del análisis estadístico se obtuvieron los siguientes resultados sobre los aspectos anteriores para cada caso de biodigestor.

### **Biodigestores domésticos rurales en desuso**

En el caso de biodigestores en abandono si se recibió asesoría técnica. El contenido de la capacitación fue completo en el caso del biodigestor de Las Chinamas, no así en el caso del digestor de Santa Lucía Orcoyo, cuya capacitación presentó serias deficiencias. No se hizo uso de recursos didácticos.

La variable capacitación técnica presentó fuertes deficiencias, lo que pudo contribuir en algunos casos al abandono del equipo; la falta de conocimiento sobre mantenimiento del equipo y problemas comunes que se podían presentar en conjunto con la falta de asesoría técnica, conlleva al abandono de la tecnología.

### **Biodigestores domésticos rurales en Funcionamiento**

En contraposición al caso anterior, para los biodigestores en funcionamiento, se tiene que las capacitaciones fueron impartidas para todos los usuarios, ya que para este

caso no son proyectos aislados sino por los contrario pertenecientes a una misma comunidad rural. En cuanto a su contenido fue muy completo ya que se les enseñó la forma en como operar, mantener y algunos problemas comunes que se les podrían presentar al utilizar el biodigestor; se hizo uso de recursos didácticos adecuados tomando en cuenta el grado de analfabetismo de los usuarios. Todas estas condiciones favorecen el buen desarrollo de la tecnología ya un mayor conocimiento equipo conlleva a una mejor utilización del mismo.

### **Biodigestores domésticos rurales en construcción**

Los usuarios de estos biodigestores si han recibido capacitación técnica, aunque debido a que este proyecto comprende la construcción de dieciocho biodigestores en distintas fases de construcción, la capacitación técnica continua desarrollándose. Para capacitación técnica se han utilizado como recursos didácticos charlas y folletos informativos.

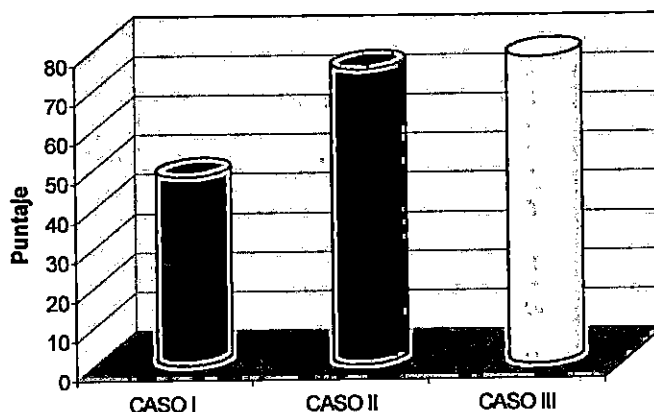
En general la variable presenta un buen desarrollo, ya que los organismos ejecutores de los proyectos que se encuentran en funcionamiento y construcción han dado a los usuarios una capacitación técnica del uso, operación y mantenimiento del equipo contribuyendo de esta manera a prevenir mal utilización del equipo y posible abandono del mismo por falta de conocimiento.

En la tabla 3.10 se presenta el puntaje promedio de la variable capacitación técnica en los tres casos de biodigestores investigados.

**Tabla 3.10 Resultados obtenidos para la variable capacitación técnica**

Caso		Promedios
Caso I	Biodigestores domésticos rurales en Desuso	48.61
Caso II	Biodigestores domésticos rurales en Funcionamiento	75.00
Caso III	Biodigestores domésticos rurales en Construcción.	78.00

En la figura 3.10 podemos observar más claramente el aumento de esta variable para el caso de los biodigestores en funcionamiento y en construcción, esto es un signo positivo para el desarrollo de la tecnología.



**Figura 3.10 Comparación de resultados de la variable capacitación técnica para los tres casos de biodigestores domésticos rurales**

## **XI. Condiciones salubres e higiénicas**

Uno de los beneficios de utilizar la tecnología del biogas es la mejora en las condiciones salubres e higiénicas.

Al realizar la encuesta se pretendían evaluar los resultados de los siguientes indicadores, para determinar que tan positivo es el impacto de la tecnología en la salud.

1. Disminución de Insectos
2. Disminución de Enfermedades Gastrointestinales
3. Disminución de Enfermedades Respiratorias
4. Protección Personal al utilizar la tecnología del biogas.

### **Biodigestores domésticos rurales en desuso**

1. Únicamente en el caso del biodigestor ubicado en Metapán, se logró obtener resultados en la disminución de contaminación por estiércol, así como en la

disminución de la contaminación por humo pues no se utilizaba leña, solamente biogas.

2. En el caso del digestor de las Chinamas, no hubo disminución en la zona porque la materia prima no era procedente del lugar, pudo haber disminución en la zona de origen del sustrato.
3. En Santa Lucía Orcoyo, era demasiada materia prima producida para ser consumida por el digestor por lo que la disminución de estiércol fue poco notoria, al igual la disminución en la cantidad de insectos y de las enfermedades gastrointestinales y respiratorias.
4. En cuanto a la protección personal la mayoría de usuarios no utilizaba la protección adecuada como guantes, botas, palas, etc.

### **Biodigestores domésticos rurales en Funcionamiento**

Los resultados obtenidos de la investigación para este caso revelan que los usuarios no utilizan protección al operar el biodigestor y manipular la materia prima. Debido a que el equipo es pequeño y la materia prima no es abundante es poco notable la disminución de insectos, enfermedades gastrointestinales y respiratorias.

### **Biodigestores domésticos rurales en Construcción**

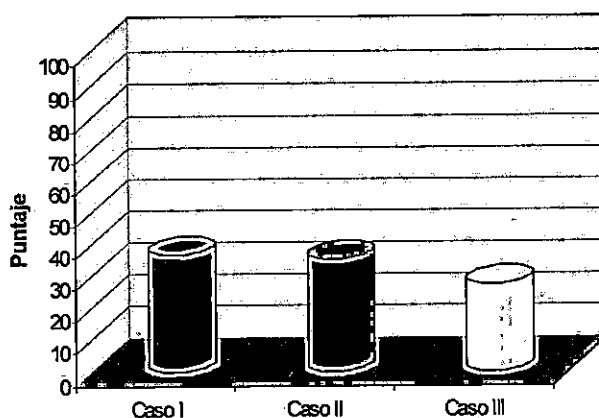
En este caso la variable se mide solo en cuanto a la protección personal al operar el biodigestor y al manipular la materia prima, ya que no se puede evaluarse la disminución de contaminación por estiércol y humo. Por lo expresado por los usuarios la protección personal que se usa es muy deficiente, no se guardan medidas de precaución en el manejo del equipo, esto puede provocar enfermedades infecciosas.

En la tabla 3.11 se presentan los puntajes promedios obtenidos para la variable condiciones salubres e higiénicas, podemos observar que son deficientes, lo que es motivo de preocupación ya que se esta poniendo en riesgo la salud de los usuarios. La deficiencia en esta variable tiene su origen la falta de información sobre las medidas de seguridad e higiene al operar los biodigestores por parte de los organismos que llevan a cabo el desarrollo de los proyectos de biogas.

**Tabla 3.11 Resultados obtenidos para la variable Condiciones salubres e higiénicas**

Caso		Promedios
Caso I	Biodigestores domésticos rurales en Desuso	40
Caso II	Biodigestores domésticos rurales en Funcionamiento	30.00
Caso III	Biodigestores domésticos rurales en Construcción	32.00

En la figura 3.11 se puede observar que no se han logrado buenos resultados en las condiciones salubres e higiénicas para los tres casos lo que indica que no se le ha dado importancia a este aspecto en la el desarrollo de la tecnología.



**Figura 3.11 Comparación de resultados de la variable condiciones salubres e higiénicas los tres casos de biodigestores domésticos rurales.**

## **XII. Conservación del medio ambiente**

Entre los muchos beneficios de la tecnología del biogas existe uno, que hoy en día cobra mucha importancia y es la contribución al medio ambiente y al desarrollo sostenible. Los beneficios en este aspecto en las zonas rurales son debidos a que la fuente principal de energía es la leña, con el uso de un biodigestor que satisfaga necesidades de cocción de alimentos y electricidad principalmente se minimiza la demanda de leña y por consiguiente la deforestación. En general la utilización de biogas en la conservación del medio ambiente se manifiesta de la forma siguiente:

1. Disminución en el Uso de leña
2. Disminución en la Contaminación por Estiércol.

Se debe aclarar que para el caso de biodigestores en construcción no fue posible evaluar esta variable pues aún no se han puesto en marcha los biodigestores, aunque puede preverse que por la capacidad de producción de biogas de los digestores de este proyecto, el uso de la leña disminuirá totalmente. Por lo tanto, solo se toman en cuenta los casos I y II.

### **Biodigestores domésticos rurales en desuso**

De nuevo solo el biodigestor de Metapán consiguió obtener los beneficios esperados en la disminución de leña y disminución de estiércol. Esto se debía a que en la granja se consumía todo el estiércol producido en la granja, con lo que se generaba suficiente cantidad de biogas, lo que suponía no utilizar leña.

En los otros casos no se consiguieron estos resultados, pero se debe reconocer que en cuanto a la disminución de leña se disminuyó notoriamente pues las capacidades de producción de biogas suplían la demanda, colaborando con un margen de participación de biogas alto y uno bajo de leña.



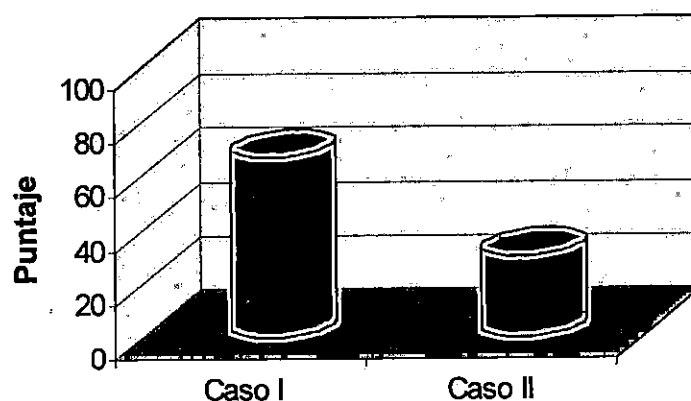
## Biodigestores domésticos rurales en Funcionamiento

La leña se sigue consumiendo porque el biogas producido no cubre la demanda de las familia para cocer sus alimentos, por lo que la disminución en el consumo de leña es poco. La disminución de la contaminación por estiércol tampoco es notoria por los usuarios ya que no poseen ganado.

En la tabla 3.12 se presentan los resultados obtenidos al evaluar la variable conservación del medio ambiente.

**Tabla 3.12 Resultados obtenidos para la variable conservación del medio ambiente.**

Caso		Promedios
Caso I	Biodigestores domésticos rurales en Desuso	67.00
Caso II	Biodigestores domésticos rurales en Funcionamiento	30.00



**Figura 3.12 Comparación de resultados de la variable conservación del medio ambiente entre biodigestores en desuso (I) y en funcionamiento (II)**

Luego de haber realizado la investigación de campo y analizado la información recopilada mediante las encuestas para cada caso de biodigestores domésticos en que se dividió dicha investigación, se señala a continuación en la tabla 3.13 los

causas y factores en los cuales debe centrarse atención debido a que se han presentados bajos niveles de evaluación.

Es importante mencionar que el caso I de biodigestores domésticos en desuso sirve como un antecedente o parámetro mediante el cual se puede comparar la tecnología del biogas actualmente tanto en sus avances como en fallas.

**Tabla 3.13 Variables que limitan el desarrollo de la tecnología aplicada a familias rurales tecnología del biogas en El Salvador**

Causas	Biodigestores Rurales en desuso	Biodigestores rurales en funcionamiento	Biodigestores rurales en construcción
<b>Económicas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Finaciamiento para asesorias técnicas</li> <li>Nivel económico de las familias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nivel económico de las familias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Finaciamiento para asesorias técnicas</li> <li>Nivel económico de las familias</li> </ul>
<b>Políticas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apoyo institucional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apoyo institucional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apoyo institucional</li> </ul>
<b>Socio – culturales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Consistencia social y ambiental</li> <li>Nivel de organización comunal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Educación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nivel de organización comunal</li> </ul>
<b>Tecnológicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>capacitación técnica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>diseño del biodigestor</li> </ul>	
<b>Ambientales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>condiciones salubres e higiénicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Condiciones salubres e higienicas</li> <li>Conservación del medio ambiente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Condiciones salubres e higienicas</li> </ul>

Como se puede observar en lo anteriormente expuesto todas las causas posibles planteadas en la hipótesis de investigación tienen incidencia en mayor o menor grado para el desarrollo de la tecnología del biogas.

### ⇒ Causas políticas

Evaluada con la variable apoyo institucional y que se ha presentado en los tres casos de biodigestores como una variable que influye en forma negativa al éxito de la tecnología. La falta de un apoyo por parte del gobierno para la promoción y apoyo de la tecnología del biogas es un factor importante considerando que la tecnología del biogas aplicada en la zona rural ha tenido buenos resultados en Latinoamérica en países donde se ha establecido un plan nacional de biogas desarrollado a nivel rural y agroindustrial como es el caso de Brasil, Guatemala,

Uruguay, Perú etc. En nuestro país en la década de los ochenta se trabajó en Plan Nacional de Biogas pero debido al desconocimiento de la tecnología por parte de personas que tienen los medios y recursos para desarrollarla así como de los funcionarios con poder de decisión en planes y programas de acción, éste no tuvo el apoyo esperado.

### ➤ **Causas económicas**

Evaluada con el financiamiento para asesorías técnicas post-implantación y el nivel económico de las familias rurales. Estas dos variables son importantes para el desarrollo de la tecnología ya que la falta de asesoría técnica limita a los usuarios en cuanto a la solución de problemas de sus equipos y a disponibilidad de informarse sobre innovaciones para los mismos. El nivel económico de las familias rurales limita la tecnología aplicada a este sector del biogas, ya que la falta de recursos económicos para reparaciones conlleva al abandono del equipo biodigestor, pero que puede solventarse mediante la instrucción adecuada a los usuarios sobre formas de cómo obtener un beneficio económico a partir de biodigestor.

### ➤ **Causas socio-culturales**

Estas causas expresadas como el nivel de organización de las comunidades rurales, como se puede observar en la tabla 3.13 se presenta para los casos I y III, como una variable que influye negativamente. La falta de organización afecta los programas de desarrollo que se implementan en una comunidad rural ya que no existe la unidad para la búsqueda de solución a sus problemas. Además no hay incentivos de promover por los miembros de la comunidad, nuevos programas de ayuda o tecnologías que mejoren su calidad de vida.

La variable educación se presenta como una limitante para el caso de digestores domésticos rurales en funcionamiento, sin embargo esta variable no debe considerarse como influyente para la comprensión de la tecnología tomando, ya que hay que tener en cuenta el poco acceso a la educación en las zonas rurales, por lo que una capacitación debe de ser en forma sencilla, clara y práctica.

### ⇒ Causas tecnológicas

En las causas tecnológicas se presenta como una limitante la variable diseño del biodigestor para el caso de biodigestores en funcionamiento, pero cabe mencionar que este proyecto era una prueba piloto para determinar la factibilidad de construcción de digestores en la zona, por lo que su diseño no tiene la capacidad adecuada a la demanda de los usuarios.

### ⇒ Causas ambientales

La variable condiciones salubres e higiénicas y conservación del medio ambiente, miden la contribución al medio ambiente por la tecnología del biogas y que han presentado niveles bajos en el análisis estadístico, sin embargo es importante mencionar que los resultados en el caso de biodigestores en funcionamiento dependen del diseño del digestor, ya que por su volumen es poco notoria la disminución en cuanto a uso de leña y contaminación por estiércol. En el caso de los biodigestores en construcción solo se pudo medir la primera variable (protección personal) encontrándose en común con los digestores en funcionamiento que no toman medidas de precaución al manipular materia prima. De esta manera las causas ambientales no constituye una limitante en el desarrollo de la tecnología pero si es imprescindible considerarlas al capacitar a los usuarios.

En este estudio es también importante destacar aquellas variables que han presentado niveles aceptables y que benefician a la tecnología del biogas aplicada a las familias rurales.

### ⇒ Causas socio culturales

Entre las variables contempladas en las causas socio culturales estaba la conciencia social y ambiental, que como se observa en la tabla 3.13 ya no representa una limitante para los usuarios de los biodigestores en funcionamiento y construcción, lo que significa un avance en cuanto a que las personas están

más informadas sobre medio ambiente y como protegerlo. También expresan los beneficios medio ambientales que los biodigestores domésticos rurales ofrecen, aunque en el caso de biodigestores domésticos rurales en funcionamiento se presentan deficiencias en la variable contribución al medio ambiente, los usuarios si han podido observar beneficios pero en menor grado.

### ⇒ Causas tecnológicas

En cuanto a estas causas como se observa en la tabla 3.13 se presenta deficiencia en la variable diseño del biodigestor para los biodigestores en funcionamiento, pero ya se abordó anteriormente los factores que lo determinan. En la tabla 3.13 podemos observar el comportamiento de la variable capacitación técnica, que presenta deficiencias en los biodigestores en desuso, pero que han sido superadas en los biodigestores en funcionamiento y construcción, lo cual indica que hay una mayor atención en el adiestramiento de los usuarios para operar el biodigestor, lo que contribuye positivamente al buen desarrollo de estos. Las variables materia prima y uso y aplicación del biogas, también contribuyen a la tecnología para este sector, ya que la disponibilidad de la primera garantiza la operación de los biodigestores y la según la satisfacción de los usuarios por los beneficios del biogas.

## **CAPITULO IV PROPUESTAS Y PERSPECTIVAS DE LA TECNOLOGÍA DEL BIOGAS EN EL SALVADOR**

### **1. PROPUESTAS DE REACTIVACION DE LA TECNOLOGIA DEL BIOGAS EN EL SALVADOR**

Muchas experiencias en el mundo indican los múltiples beneficios de la tecnología de biogas con relación a:

- a) Disminución de la contaminación, ya que durante la combustión del metano (componente mayoritario del biogas) no se produce cenizas ni partículas sólidas
- b) Producción de fertilizantes orgánicos que pueden sustituir gradualmente los fertilizantes químicos.
- c) Generación de empleo en la construcción de los biodigestores, ya que se necesita de personas que los construyan las cuales quedan capacitadas en la construcción de los mismos, pudiendo ofrecer sus servicios en caso de reparación y en nuevos proyectos.
- d) Contribuir a la deforestación por la disminución gradual de la leña como fuente de energía en familias rurales.
- e) Sanidad pues se aprovechan los desechos producidos por animales, humanos, residuos agrícolas y desechos municipales.

La tecnología del biogas en El Salvador aplicada a las familias rurales presenta posibilidad de implantación ya que es una fuente de energía que contribuye al desarrollo local impulsado en la actualidad por el Gobierno de El Salvador vía mayor participación ciudadana en la búsqueda de soluciones a sus problemas. Estas nuevas tendencias promueven prácticas de los agricultores encaminadas a la protección del medio ambiente y a la autosostenibilidad. La solución de problemas energéticos mediante fuentes renovables de energía aumenta el número de agentes generadores de energía lo que genera mayor capacidad local.

Actualmente la preocupación por el medio ambiente mundial debido al efecto invernadero que causa el calentamiento de la atmósfera, esta incentivando la promoción de proyectos en beneficio del medioambiente así como también de las familias rurales: reforestación, cocinas biogas, estufas, etc. Estos proyectos están siendo financiados por diversos organismos como ONG's. Décadas atrás la tecnología del biogas aplicada a las familias rurales tuvo una época de mayor interés en su investigación y promoción, fue así como en Instituciones del Gobierno como el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y la Comisión Ejecutiva del Río Lempa (CEL) en convenio con el ICAITI, se involucraron con el estudio de la tecnología y se formularon proyectos de desarrollo y difusión de esta en este sector, pero no tuvieron el apoyo financiero esperado para continuar con las etapas de seguimiento, por lo que a nivel institucional estos proyectos quedaron en el olvido. Además el contexto de privatización colocó a las fuentes renovables como el biogas en una posición de desventaja frente a las fuentes convencionales de energía, cerrándose espacios de difusión institucional destinados a buscar desarrollo de estas fuentes alternas de energía lo que también afectó a los proyectos desarrollados con las familias rurales.

Para el desarrollo de la tecnología del biogas y otras fuentes renovables de energía en el sector de las familias rurales es necesario comprobar la viabilidad de los proyectos, para ello una de las instituciones encargada de dicha función es el Centro Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) el cual se encarga de estudiar si los proyectos son viables para un mejor desarrollo y ejecución además se involucran otras entidades gubernamentales tales como Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), el Centro de Tecnología Agrícola (CENTA) etc.. Luego de comprobada su viabilidad insertarlos a la sociedad para beneficio de la misma. También es necesario involucrar los siguientes sectores de la sociedad:

- ☞ Gobierno: mediante políticas que difundan y promuevan el uso de fuentes renovables de energía una vez comprobada la viabilidad de las tecnologías .
- ☞ Empresa privada: con un rol proactivo ofertando sus servicios y con la capacidad de ejecutar proyectos de fuentes renovables de energía.

- ☛ Sociedad civil (ONG's, sector académico, gremios profesionales etc) con visión ambientalista promoviendo y financiando investigaciones y proyectos relacionados con fuentes renovables de energía.
- ☛ Organizaciones internacionales para apoyo financiero y de investigación

La tecnología del biogas en El Salvador esta prácticamente empezando después de años de abandono, en su reactivación actual sé esta involucrando el gobierno con la colaboración de entidades regionales e internacionales que brindan apoyo a este tipo de proyectos. A continuación se proponen las siguientes vías para lograr la reactivación de la tecnología del biogas aplicado al sector de las familias rurales como una fuente alterna de energía en El Salvador:

- a) Que el Estado investigue las Fuentes Renovables de Energía como una posible alternativa que contribuya a mitigar problemas energéticos y medioambientales en el país y en especial en el área rural.

## **1. Investigación**

1. Que instituciones como el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y el Centro de Tecnología Agrícola (CENTA), retomen las investigaciones sobre la producción y utilización de biogas y bioabono, para demostrar la viabilidad técnica – económica - ambiental de la implementación de esta tecnología en las familias del sector rural, si resulta positiva su implementación entonces, ofrecerla como una alternativa viable para solventar problemas medio ambientales y de autosostenibilidad de este sector.
2. Promover la investigación en estas instituciones, posibilitando el intercambio de información y difusión por medio de simposios, seminarios y conferencias en países de Latinoamérica.
3. Que el sector académico, profesional, empresa privada promuevan, investiguen y apoyen, adoptando un rol protagónico en beneficio de las Fuentes Renovables de Energía.



4. Que el sector académico promueva los resultados de trabajos de graduación en torno a las Fuentes Renovables de Energía dándole de este modo un decidido apoyo.

## **2. Difusión**

Una vez demostrada la viabilidad despertar el interés nacional hacia las Fuentes Renovables de Energía por parte del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales a través de recursos financieros para la investigación, promoción y difusión en seminarios, conferencias, simposios y cualquier otro medio de difusión.

En el caso particular del biogas establecer mecanismos de difusión del biogas para incentivar su uso en las familias de las zonas rurales con el objetivo de que los pobladores conozcan la tecnología y sus beneficios. Los mecanismos de difusión pueden ser:

- Crear un grupo difusor de la tecnología con diferentes organizaciones como MAG, CENTA, Ministerio del Medio Ambiente y afines.
- Aprovechar la infraestructura de los comités ambientales departamentales para brindar información sobre el biogas aplicada al uso doméstico.
- Demostración de la tecnología del biogas en las familias del área rural, seleccionando los lugares óptimos de construcción de las mismas.
- Realizar propaganda de obtención, construcción y usos del biogas mediante boletines informativos que expongan con sencillez y claridad beneficios, usos y operación de los biodigestores.
- Realizar cursos teóricos y prácticos de construcción de biodigestores domésticos.
- Mostrar a diferentes escalas la producción de biogas en biodigestores domésticos en ferias agropecuarias

## **3. Capacitación**

1. Capacitar a personal técnico del MAG Y CENTA en aspectos técnicos, económicos y sociales; relacionados con la tecnología de producción de biogas y bioabono, mediante intercambio de información con países donde la

tecnología del biogas a sido investigada e implantada lo que permitirá reforzar la capacidad de investigación.

2. Realizar cursos teóricos y prácticos de construcción de biodigestores.

#### **4. Financiamiento**

1. Orientar una vez demostrada la viabilidad, las políticas Gubernamentales de apoyo a los campesinos hacia la construcción de biodigestores, en los casos que se evidencie la necesidad e interés del uso de la tecnología de producción de biogas y que puede llevarse a cabo por medio de los comités de desarrollo local y financiadas por le Fondo de Inversión para el Desarrollo Local (FISDL) y el Fondo de Inversión Nacional de Energía y Telecomunicación (FINET).
2. Que organismos como el FONAES, FIAES y otros mediante los cuales se canalizan ayudas internacionales para el país continúen financiando proyectos de biogas incluyendo: investigación, construcción, capacitación mantenimiento y seguimiento de los proyectos, etc.

#### **b) Apoyo de Organizaciones Internacionales**

Buscar la colaboración de organizaciones Internacionales y regionales que colaboran con proyectos de fuentes renovables de energía en especial de biogas en familias rurales como:

- Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), ya que desde que fue creada apoya financieramente proyectos de demostración de biogas
- Red de Biomasa para Centro América (BUN\_CA) organización sin fines de lucro que apoya programas que base en la protección de los recursos naturales y dentro de un marco de desarrollo sostenible
- Programa de desarrollo de las naciones unidas y organizaciones afines como la USAID que apoya programas de energía renovable en América Central
- Organismos no gubernamentales (ONG) y muchas otras organizaciones.

Se debe unificar esfuerzos y lazos con este tipo de organizaciones para la promoción del biogas y otras fuentes renovables de energía.

Demostrada la viabilidad de los proyectos de biogas en las familias rurales, las vías para el desarrollo de la tecnología del biogas y las alternativas anteriormente expuestas dan la base para una estrategia nacional de biogas, sin embargo también es necesario plantear alternativas encaminadas a la mejor implantación de proyectos de biogas en las zonas rurales, tomando en cuenta los aspectos observados en el diagnóstico, por lo que se proponen las siguientes alternativas para la mejor implantación de proyectos de biogas, asegurando su éxito:

1. Incluir en los proyectos de biogas para familias rurales financiamiento para asesorías técnicas para seguimiento de proyectos por un tiempo mínimo de 1-3 años, en las que durante los primeros tres meses se realicen por lo menos dos visitas al mes y luego una visita por mes, esto con el objetivo que los usuarios se enriquezcan de conocimientos sobre la tecnología y que sean capaces de resolver los problemas que se le presenten.
2. Que los asesores se identifiquen con los usuarios por algún problema que se les presente en cuanto al funcionamiento de los biodigestores
3. Capacitar de forma especial a usuarios para que puedan prestar servicio técnico sobre la tecnología del biogas a sus vecinos, ya que el 75% de los campesinos o productores entienden más el lenguaje y las capacitaciones que les dan los mismos campesinos o productores (16).
4. Debido al bajo nivel educativo en las familias de las zonas rurales del país es importante realizar las capacitaciones sobre el uso de los equipos digestores orientada a la filosofía "aprender- haciendo- enseñando" (16), para lograr una mayor comprensión y dominio de la tecnología del biogas. Esta filosofía se basa en el hecho de que los conocimientos se hacen más nuestros en la medida en que los practicamos.

5. Realizar un exhaustivo plan de capacitación en donde no solo se le enseñe al usuario la forma de operar el biodigestor, sino se incluyan los siguientes temas:
  - Como resolver problemas comunes de operación.
  - Medidas de seguridad al operar el biodigestor
  - Medidas higiénicas para tratar la materia prima (principalmente estiércol).
  - Consecuencias de no tomar en cuenta medidas de seguridad e higiénicas
  - Charlas sobre medio ambiente
6. Parte importante para el buen desarrollo de los proyectos en las comunidades es la organización que estas tengan, por lo que las comunidades deben estar organizadas para poder apoyar los proyectos que en ella se desarrollen, deben ser capaces de participar y de realizar autogestión.
7. Planificar la construcción de los biodigestores domésticos tomando en cuenta demanda a suplir en base al número de miembros de la familia y a la disponibilidad de materia prima.
8. Asignar la construcción de biodigestores domésticos a las personas que demuestren interés mediante presencia a capacitaciones, entusiasmo y participación.
9. Asegurar la calidad de los biodigestores domésticos ya que de esto depende una buena producción, uso del biogas y vida útil del mismo.
10. Que los diseños de biodigestores domésticos sean versátiles y que tenga una capacidad adecuada a las demandas de la familia para asegurar el abandono total de la leña como fuente de energía.
11. Proporcionar conocimientos a los familias rurales sobre formas de utilizar los productos de las plantas biodigestoras construidas (alumbrado, motor generador, bioabono).
12. Promover la innovación en los usuarios de biodigestores domésticos, es decir no solamente transferir y adoptar la tecnología, sino permitir que los usuarios

desarrollen sus inquietudes, esto permitirá mejoras en los equipos y en los procedimientos.

13. Efectuar una evaluación de fuentes de materia prima en los lugares donde se construyen los biodigestores domésticos, para asegurar la disponibilidad de esta, de lo contrario gestionar un aprovisionamiento de materias primas de fuentes cercanas.
14. Establecer zonas de prioridad en las cuales llevar a cabo proyectos de biogas para uso doméstico en familias rurales tomando en cuenta la disponibilidad de materia prima, la contaminación causada por esta y la deforestación.

Otras consideraciones que se debe hacer es el planteamiento de recomendaciones para asegurar el éxito de la tecnología considerando la problemática de los biodigestores en funcionamiento y construcción, por lo que se plantean las siguientes alternativas específicas para cada caso:

#### ⇒ **Biodigestores domésticos rurales en funcionamiento**

1. Debido a la aceptación de la tecnología del biogas por parte de las familias de la comunidad las Delicias en Suchitoto es necesario mejorar el diseño del equipo, para aumentar la cantidad de biogas producido lo cual podría hacerse implementándose otro sistema de barriles en paralelo, con lo que se duplicaría la capacidad del biodigestor y por ende se mejoraría la producción de biogas.
2. Mejorar el sistema de almacenamiento de biogas (gasómetro), lo cual podría lograrse aumentando el tamaño de los barriles usados para el almacenamiento.
3. Dar a conocer los beneficios producidos por el bioabono, para que estos los utilicen sus huertas de hortalizas.
4. Debido a la forma de sistema de carga es necesario la implantación de medidas de higiene y seguridad.

## ➤ **Biodigestores domésticos rurales en Construcción.**

1. Que el organismo ejecutor del proyecto brinde seguimiento luego de la puesta en marcha del biodigestor doméstico, para asegurar la adecuada utilización del equipo por parte de los usuarios.

Al igual que los biodigestores en funcionamiento es necesario implementar las medidas de seguridad e higiene en el manejo de los biodigestores domésticos en construcción.

## **2. PERSPECTIVAS DE LA TECNOLOGIA DEL BIOGAS EN EL SALVADOR**

En nuestro país el sector energético se ha visto afectado por la privatización y globalización que se refleja en el alza de las tarifas energéticas. Este contexto conlleva a la búsqueda de soluciones energéticas mediante el aprovechamiento de los recursos que el país posee como biomasa, sol y viento; las cuales pueden aprovecharse con diversas tecnologías como la producción de biogas, celdas fotovoltaicas, etc.

La tecnología de producción de biogas y biabono tiene un mercado potencial en las familias rurales del país las cuales no tienen acceso a Fuentes Convencionales de Energía (FCE) debido al costo de la electrificación de comunidades ubicadas muy distantes a centros urbanos, aunado a la falta de recursos económicos de estas personas no les permite enfrentar los costos de la energía eléctrica. Sin embargo poseen recurso como estiércol y residuos agrícolas que pueden ser aprovechados mediante la tecnología de producción de biogas llevando a cabo proyectos de construcción de biodigestores para satisfacer la demanda de energía térmica para cocción de alimentos y energía eléctrica para alumbrado.

La utilización del biogas en la cocción de alimentos hasta la producción de energía para alumbrado por las familias rurales, y otros usos permiten mantener un equilibrio tanto económico como ecológico, económico ya que de alguna manera la fuga de divisas disminuyen por la baja en la importación de petróleo y ecológico ya que el medio ambiente se beneficia por la disminución de emanaciones de gases que causan el efecto invernadero y se producen al generar energía con hidrocarburos.

A pesar que en nuestro país el biogas no ha tenido un apoyo gubernamental para su implantación en familias rurales como en otros países, actualmente esta siendo favorecida por el interés de muchas organizaciones o personas particulares en llevar a cabo proyectos de relacionados con fuentes renovables de energía, ya que sondeos preliminares realizados por BUN\_CA han identificado que un aproximado de 50 ONG's operando en el país están interesadas en proyectos sobre Fuentes Renovables de Energía (FRE), debido a que existe una preocupación con respecto al medio ambiente mundial por lo que se están buscando medios para minimizar efecto invernadero que causa cambios climáticos los cuales muchas veces quebrantan la economía de los países.

Existen factores actualmente que están contribuyendo al desarrollo de la tecnología para familias rurales como una fuente alterna de energía, tales como:

✓ **Los proyectos de biogas realizados en la actualidad**

Estos proyectos han hecho que la tecnología surja luego de muchos años de abandono, contribuyendo a su difusión y promoviendo el interés de los pobladores que viven en los alrededores donde se ha construido un biodigestor, lo que ha sido verificado mediante las encuestas en las que los usuarios encuestados expresan que si hay interés de sus vecinos en los biodigestores, manifestado en sus visitas para observar la forma de operación y el deseo de poder tener un equipo.

✓ Organización de las comunidades

La organización de las comunidades es importante para la realización de cualquier proyecto, ya que hace a las comunidades proactivas hacia la gestión de financiamiento para proyectos de beneficio como la construcción de biodigestores y hacia la solución de problemas relacionados con los proyectos.

✓ El creciente interés hacia la conservación del medio ambiente de parte de organizaciones nacionales e internacionales

Mediante la búsqueda de formas alternas de energía como el biogas y otras Fuentes Renovables de Energía (FRE), apoyadas por diversos organismos que financian estos proyectos, lo que constituye un punto a favor del biogas.

Tomando los proyectos de biogas llevados a cabo actualmente como un factor que beneficia la difusión de la tecnología del biogas es importante mencionar las perspectivas de dichos proyectos.

- ▶ Los biodigestores domesticos rurales en funcionamiento ubicados en Suchitoto han tenido hasta el momento un buen desarrollo a pesar de las limitantes encontradas en el diagnóstico en cuanto a diseño del biodigestor y capacidad para satisfacer necesidades; teniendo en cuenta que era un proyecto de prueba piloto con el objetivo introducir la tecnología de producción de biogas como complemento de proyectos de reforestación, ya que al utilizar biogas en la cocción de alimentos se reduce el consumo de leña y por ende supone la reducción de la tala de arboles. Los logros obtenidos hasta la fecha han impulsado la generación de un nuevo proyecto de diez cocinas de biogas en Suchitoto para la comunidad " El Sitio" el cual esta ya en ejecución. Este proyecto esta financiado por el Fondo de Iniciativa para las Américas El Salvador (FIAES) y Ejecutado por el Comité de Reconstrucción y Desarrollo de las Comunidades de Suchitoto (CRC) al igual que en la comunidad Las Delicias. Los nuevos biodigestores domésticos para familias rurales tendrán una mayor capacidad



que los construidos en la prueba piloto, lo que asegurara un mayor tiempo de biogas en la cocción de alimentos.

Es importante mencionar que el CRC tiene proyectado la construcción de más biodigestores en otras comunidades de familias rurales de Suchitoto, debido al éxito obtenido en el plan piloto en la comunidad Las Delicias y que la presencia de este organismo asegura el funcionamiento y continuación de los proyectos de biogas y medio ambiente.

- ▶ Los biodigestores domésticos rurales construidos en San Miguel y Morazán representan el proyecto de mayor magnitud que sé esta ejecutando en la actualidad en cuanto a la cantidad de biodigestores y su capacidad, por lo que representa un área clave para la demostración de biodigestores para familias rurales, teniendo en cuenta la suficiente existencia de ganado bovino y porcino en los alrededores, lo que la hace un área ideal para desarrollar otros proyectos de biogas.

En general se reconoce que la digestión anaerobia y las FRE ofrecen múltiples beneficios en el área rural, sin embargo su aplicaciones no sólo deben limitarse en este sentido, ya que se presentan diversos usos los cuales han sido investigados e implantados en algunos casos en otros países como: México, Brasil, Costa Rica, Dinamarca y otros, enfocados el tratamiento de desechos agro-industriales y desechos municipales. En este sentido se proponen las siguientes aplicaciones de la digestión anaerobia con producción de biogas en El salvador para investigar o ensayar la tecnología:

- ✓ Tratamiento de desechos agro-industriales provenientes de industrias de alimentos tales como: cervecería, carne, harina y desechos de procesos de frutas y verduras los cuales representan un mercado potencial ya que gran parte de sus desecho son orgánicos y pueden ser utilizados para la generación de energía eléctrica para autoconsumo, como combustible para vehículos, etc.

- ✓ Utilización de la tecnología del biogas para tratamiento del estiércol generado en las granjas porcinas, bovinas y avícolas, en las cuales el biogas producido podría utilizarse para el abastecimiento de energía de las mismas (calentamiento de agua, cocción de alimentos y alumbrado), con lo que se logra una buena disposición de desechos y ahorro en consumo de energía.
- ✓ Disposición de los desechos orgánicos provenientes de los mercados, los cuales podrían generar un abono orgánico alto en sustancias nutritivas para el suelo (Biobono) y biogas el cual podría ser utilizado para cocción de alimentos en cocinas a propiedades.
- ✓ Tratamiento de aguas mieles y pulpa provenientes de la industria del café, las cuales por su alta carga orgánica pueden ser utilizadas para la generación de energía por medio de biogas lo que permitiría suplir parte de la demanda energética.
- ✓ Tratamiento de aguas negras
- ✓ Producción de biogas a partir de los gases producidos en los rellenos sanitarios, incorporando a estos un sistema de colector de gas para luego transportarlo a usos como generación de energía eléctrica, combustible para autos, cocinas domesticas en áreas aledañas.

En El Salvador existen diversas industrias las cuales generan desechos con alta carga orgánica lo que representa un mercado potencial factible para ser tratado mediante digestión anaerobia con producción de biogas, tomando en cuenta que actualmente existe un marco legal y regulatorio que obliga a estas industrias a tratar esos desechos, por lo que es conveniente evaluar los beneficios económicos (proyectos rentables) y los beneficios ambientales que conlleva la utilización de tecnologías de fuentes renovables como el biogas.

En la siguiente tabla se muestra un estimado del mercado potencial para aplicación de tecnología del biogas y la capacidad de sustitución de crudo por parte de diversas

industrias del país y otros sectores que representaría un mercado potencial para ser explotado, sin embargo, esto requiere mucha investigación y análisis de factibilidad económica.

**Tabla 4.1 Mercado potencial de aplicación de la tecnología del biogas en El Salvador**

Sector	Nº usuarios	Materia prima	Producción	m <sup>3</sup> de biogas (10 <sup>7</sup> )	Kcal/año (10 <sup>11</sup> )	m <sup>3</sup> de petróleo/año
Caña <sup>1</sup>	3 Ingenios	Vinazas	360, 000 lt alcohol	2.037	1.107	11,435
Café <sup>2</sup>	100 Beneficios	Pulpa	6,114.9 miles quintales	3.002	1.6307	16,846
		Aguas mieles				
Familia rural <sup>3</sup>	2,536,765 habitantes	Estiércol bovino	281,250 cabezas	2541.42	1380.5	14,261,363
		Estiércol porcino	193,944 cabezas			
		Aves de corral	3,962,343			
Cooperativas <sup>4</sup>	2,108	Estiércol bovino	1,125,000	1394.41	733	7,572,354
Municipalidades <sup>5</sup>	262	Basura aguas negras				
total				3940.869	2116.2311	21,850,474.4

1. Ingenios produciendo alcohol

2. Datos obtenidos por medio del Ing. Jorge Lardé PROCAFE

3. Datos de Estadística y Censo

4. Asociación de Ganaderos

5. COMURES

## CONCLUSIONES

1. En la mayoría de proyectos desarrollados en El Salvador en el pasado en familias rurales, que fueron abandonados y están en desuso, las causas que limitaron la adopción permanente de la tecnología y su difusión en el sector de las familias rurales fueron:
  - Falta de apoyo institucional de las entidades públicas que gestaban los proyectos en el pasado, debido a ausencia de políticas y visión sobre la importancia estratégica de la tecnología de producción y usos del biogas en el sector familiar rural como una fuente renovable de energía y del bioabono como un fertilizante orgánico que contribuye a mejorar las prácticas agrícolas no dañinas al ambiente.
  - Falta de seguimiento de los proyectos luego de su construcción debido a la ausencia de recursos financieros.
  - Aspectos de sostenibilidad de proyecto: no se contempló en los proyectos el nivel socio cultural y educativo de la familias usuarias el cual represento una barrera frente a la ausencia de capacitación y seguimiento de proyectos.
  - En el pasado no existía un nivel de organización, no obstante, no se puede concluir que la ausencia de esta organización haya influenciado el abandono de los digestores. Aunque el nivel actual de organización comunal es una variable a favor de las etapas de operación y mantenimiento de los digestores.
  
2. Para el caso de los digestores domésticos actualmente en funcionamiento las causas que pueden limitar su desarrollo son:
  - Falta de apoyo institucional de los gestores de proyectos luego de finalizada la construcción traducida en la falta de asesorías para seguimiento post – implantación de los biodigestores domésticos.
  - Causas socio culturales: no se contemplo el bajo nivel económico de las familias rurales usuarias que representa una barrera para la reparación de los biodigestores.

- Diseño del biodigestor: La insatisfacción de la demanda de biogas debido a la baja productividad del biodigestor; podría disminuir el interés de las familias usuarias con el consecuente desuso de los mismos.
3. Para el caso de los biodigestores domésticos en construcción las variables que representan una barrera para el uso de la tecnología son:
- Al igual que en los dos casos anteriores la falta de apoyo institucional para financiamiento de asesorías técnicas post implantación puede llegar a ser limitante en desarrollo de la tecnología del biogas en este sector.
  - El nivel económico podría ser una limitante en el mantenimiento y reparación de los biodigestores domésticos, por lo que debe enseñárseles a los usuarios formas de aprovechar los productos de la fermentación anaerobia como por ejemplo el uso de biabono en huertos caseros que luego pueden comercializarse y obtener un beneficio económico.
4. La tecnología de la fermentación anaerobia para producción de biogas presenta la limitante de no ofrecer una solución única energética para satisfacer todas las necesidades para una familia rural, ya que para ello se requiere de volúmenes de digester de gran tamaño (alrededor de 10 m<sup>3</sup>) lo cual requiere de una alta inversión suficiente materia prima.
5. En el diseño de los proyectos es fundamental la componente educativa y la capacitación en las etapas de gestión, implantación y seguimiento de los proyectos con énfasis a las prácticas adecuadas de mantenimiento, seguridad y higiene en la adopción de la tecnología y en la conciencia de conservación de rescate ambiental donde se enmarcan estos proyectos.
6. El nivel educativo, de analfabetismo de las familias rurales que pertenecen a las comunidades puede representar una barrera en la adopción de la tecnología si la capacitación no se efectúa en forma práctica, sencilla y en etapas posteriores (de hasta 3 años) a la implementación de los proyectos.
7. Algunos aspectos que pueden contribuir al fortalecimiento y desarrollo de la tecnología del biogas en las familias rurales son:

- a) La creación de una estrategia nacional de parte de los organismos responsables de la gestión ambiental y energía en pro de las Fuentes renovables de Energía (FRE) traduciéndose en oportunidades de financiamiento, promoción, difusión y capacitación sobre las mismas
  - b) Financiamiento y apoyo de los gobiernos y organizaciones internacionales para el desarrollo de programas y proyectos sobre la creación y fortalecimiento de la capacidad de desarrollo sostenible de la FRE donde se incluya la tecnología del biogas.
  - c) La investigación sistemática y científica, en centros académicos y de investigación sobre la adecuación de esta tecnología para este sector y sus aplicaciones acompañada de la difusión de resultados entre los factores responsables de su implantación: la sociedad civil y la empresa privada.
  - d) Involucrar a las universidades y otros centros de investigación para que puedan tener un rol protagónico en el estudio sistemático y permanente de las FRE en sus cátedras, a fin de ir optimizando diseños de digestores y aplicaciones del biogas y biabono en los aspectos técnicos y económicos.
  - e) Incentivar el uso de fuentes renovables de energía mediante un mercado de créditos y débitos, para proyectos a gran escala de industria y agroindustria (que tengan asegurada su sostenibilidad) o grupos de proyectos de menor escala que en conjunto disminuyan las emisiones de gases efecto invernadero.
8. Las perspectivas del biogas en El Salvador se perfilan en dos áreas potenciales de la zona rural:
- Familias rurales agrupadas en cooperativas o comunidades rurales que posean las materias primas e insumos (desechos orgánicos, agua, etc.) necesarios para la implantación y operación de biodigestores y que además posean la iniciativa o capacidad de gestión frente a organismos ejecutores de estos proyectos como las ONG's que representen la comunidad.
  - Otra área la agroindustria salvadoreña, luego de demostrada la factibilidad mediante la investigación, la cual se beneficiaría con proyectos de generación de energía eléctrica, producción de fertilizantes y sobre todo una buena

disposición de desechos industriales orgánicos destacando la agroindustria del café.

9. Aspectos sociales y culturales como el vandalismo y fenómenos naturales pueden en determinadas circunstancias representar una limitante en el desarrollo de los digestores que son vulnerables al medio ambiente natural y social.
10. Los proyectos de biogas a escala industrial y agroindustrial deben ser diseñados considerando su sostenibilidad y ventaja competitivas y comerciales frente a las fuentes convencionales de energía asociado a los beneficios totales y ambientales con un valor económico para la implantación de estas modalidades tiene un rol protagónico los organismos financieros internacionales y locales las entidades privadas y ONG's comprometidas con el desarrollo de las fuentes renovables y el gobierno.

## RECOMENDACIONES

1. Dar seguimiento a los proyectos de cocinas biogas para familias rurales en Suchitoto y San Miguel y Morazán ya que estos proyectos representan areas claves de demostración de uso la tecnología de producción de biogas y bioabono.
2. Conviene que los organismos rectores de la gestión ambiental a nivel nacional y las entidades que lideran programas regionales en pro de la conservación del medio ambiente estudien la alternativa de un mercado de créditos y débitos para proyectos energéticos convencionales y fuentes renovables tomado como base su aporte en la reducción o desplazamiento de gases de efecto invernadero.
3. Conviene que el gobierno sectores, académicos de la sociedad civil y entidades asociadas al desarrollo de fuentes renovables de energía unan esfuerzos y fortalezcan la capacidad local a través del desarrollo de talleres de capacitación, seminarios, intercambio de experiencias regionales etc.
4. Impulsar proyectos de fuentes renovables como el biogas mediante el aprovechamiento del mercado internacional de BONOS para proyectos que disminuyen el efecto de los gases invernadero, mediante captura o reducción de emisiones.
5. Realizar investigaciones sobre el estado actual de las fuentes renovables de energía en el país tomando en cuenta el contexto económico, político, social y medioambiental.
6. Es conveniente dar a conocer las limitantes en la satisfacción en las demandas energéticas para las familias rurales de la tecnología del biogas en cuanto que se requiere un volumen de por los menos  $10 \text{ m}^3$  lo que conlleva a altas inversiones y a grandes cantidades de materia prima para su operación por lo que se debe



integrar a la tecnología del biogas otras tecnologías de fuentes renovables como la solar.

7. Es recomendable evaluar alternativas de viabilidad para la aplicación de estos proyectos en comunidades de escaso recursos y así evitar el abandono de la tecnología luego de construidos.

## REFERENCIAS

1. Black; Hayse H. "Engineering Studies of Coffee mill waste in El Salvador (1960)", Cincinnati, Ohio (1961).
2. Chiquillo Alas, Alberto. "Instalaciones y Experimentos realizados en El Salvador para producir biogas", Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa. San Salvador, El Salvador, (1980)
3. Warriner, Craig. "Methane gas project, Las Chinamas, El Salvador". Report to united State International Development Agency, San Salvador El Salvador. (1979)
4. Warriner, Craig. "Community based methane power plant". Las Chinamas, El Salvador,(1979).
5. Lardé, Gerardo. "Determinación de la concentración mínima de estiércol en mezclas con pulpa de café, para una optima producción de gas combustible". Departamento de Suelos y Química Agrícola, Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café. (1980)
6. Flores B. Nelson. "Un equipo sencillo y económico para producir y utilizar el biogas en el area rural". San Andrés, Santa Ana.
7. Flores B, Nelson. "La tecnología del biogas en El Salvador". Centro de Tecnología Agrícola (CENTA), (1985)
8. Curso de capacitación. "Reciclaje de materias orgánicas y biogas. Una experiencia en China", Chengdu, China, 1984.
9. Instituto Centro Americano de Investigación y tecnología industrial (ICAITI) (1986). "Curso y Simposio sobre digestión anaerobia". San Salvador, El Salvador, 1986

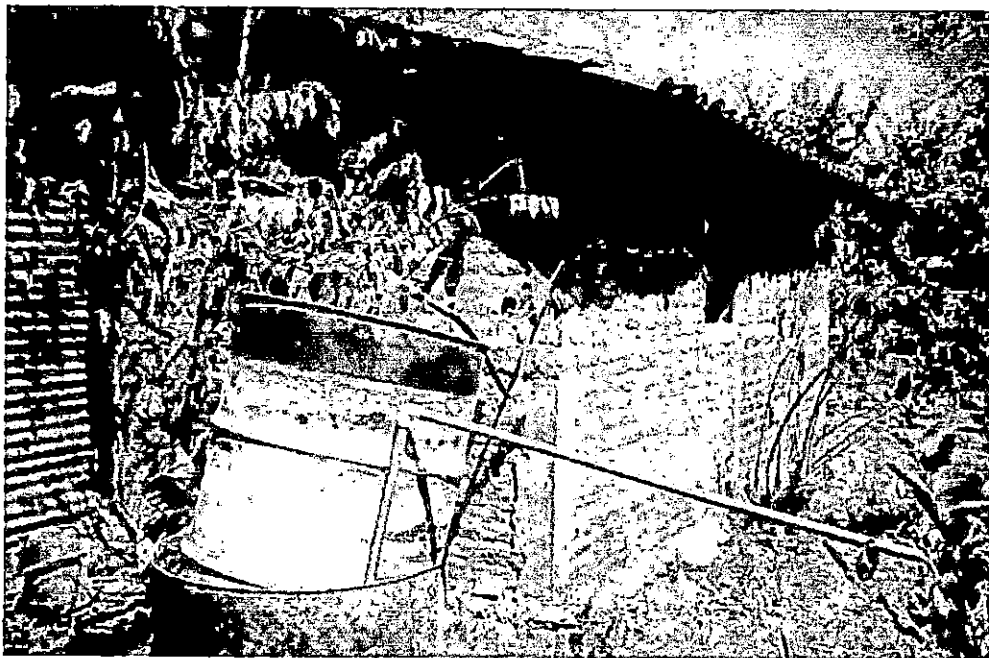
10. Simposio Centroamericano sobre aplicaciones de energía biomásica (1985). “Diseño y Construcción de Biodigestores”, Cartago, Costa Rica.
11. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología industrial (ICAITI).(1983). Biogas. Información General, Proyecto de leña y fuentes alternas de energía.
12. Paredes J. y Triminió J.(1992) “Rendimiento del Estiércol bovino y la Gallinaza como sustrato para la producción de biogas y bioabono”. Trabajo de Graduación para optar el Título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de ingeniería Agronómica. Universidad de El Salvador.
13. Cabezas G, Carias J. Et. Al.(1985). “Diseño de un sistema integral aprovechando biogas para el centro modelo para desplazados Bethania”. Trabajo de Graduación para optar al título de Ingeniero Mecánico. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”.
14. Aguilar J.(1985). “Evaluación del potencial del biogas como fuente energética en El Salvador” Trabajo de Graduación para optar al título de Ingeniero Químico. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”.
15. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología industrial(ICAITI).(1985). “Biogas y bioabono aplicaciones”. Información General. Proyecto de leña y fuentes alternas de energía.
16. Estrategia para la organización local. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección de recursos Naturales Renovables, Programa Ambiental de El Salvador.

17. Universidad Católica de Louvain (1993). "Biomethanation a Developing Technology in Latin America". Bruselas/Bremen, Bélgica.

**ANEXOS**

**ANEXO A**

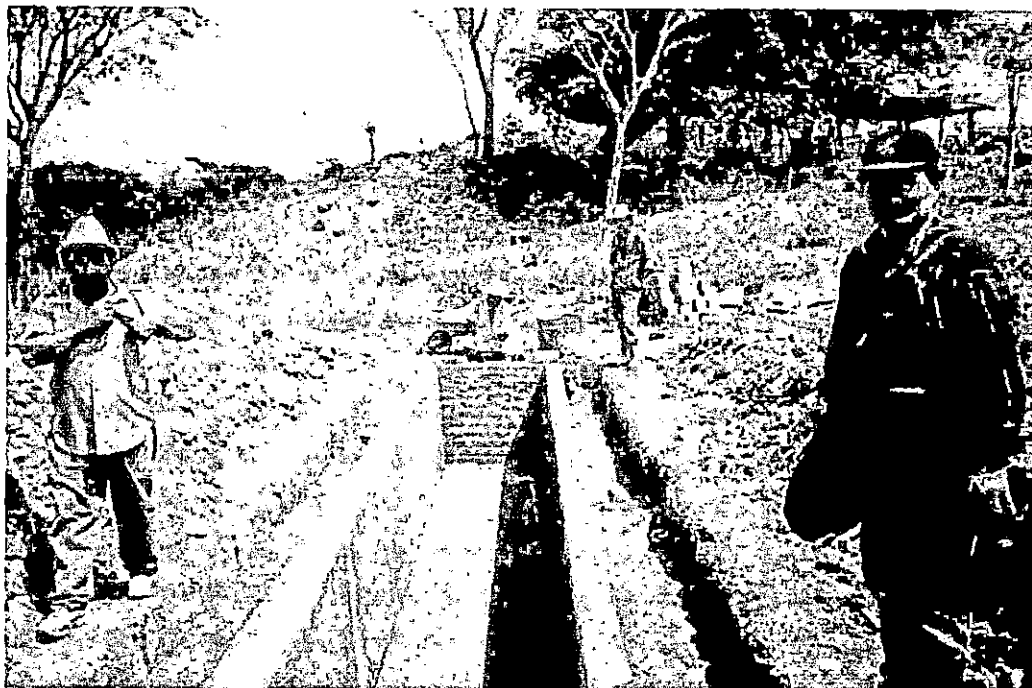
**ESTADO ACTUAL DE LOS BIODIGESTORES  
FAMILIARES DOMESTICOS EN LA ZONA RURAL  
DE EL SALVADOR**



**Anexo A.1 Colector de biogas para uso doméstico rural ubicado en el municipio de Suchitoto**



**Anexo A.2 Biodigestor doméstico rural de barriles (Suchitoto)**



**Anexo A.3 Biodigester de media bolsa en periodo de construcción**



**Anexo A.4 Biodigester domestico rural de media bolsa en etapa final de construcción**

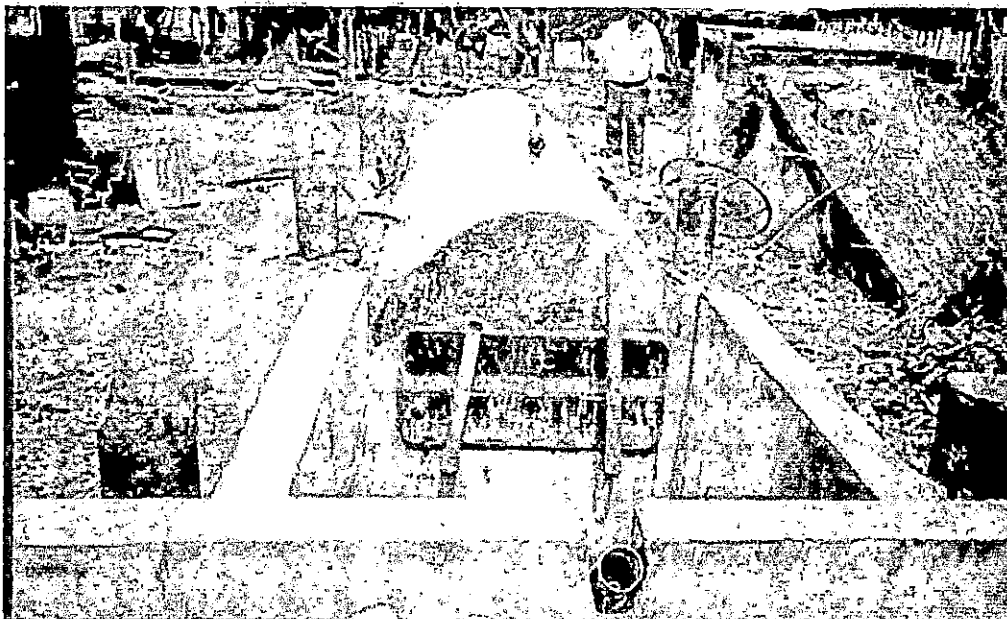




**Anexo A.5 Biodigestor domestico rural de bolsa en la primera etapa de construcción**



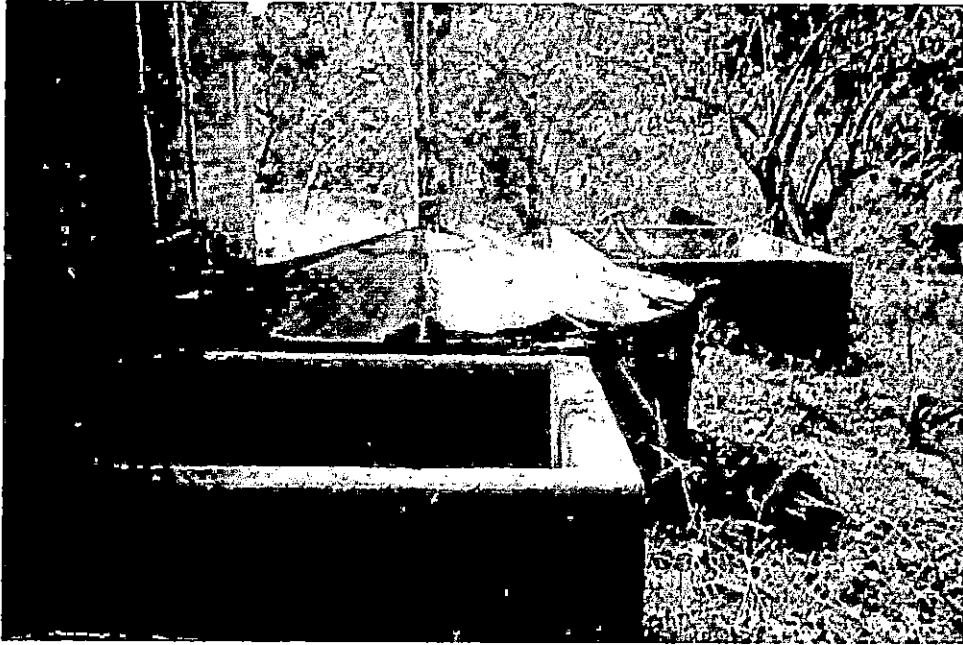
**Anexo A.6 Biodigestor domestico rural de bolsa en proceso de construcción**



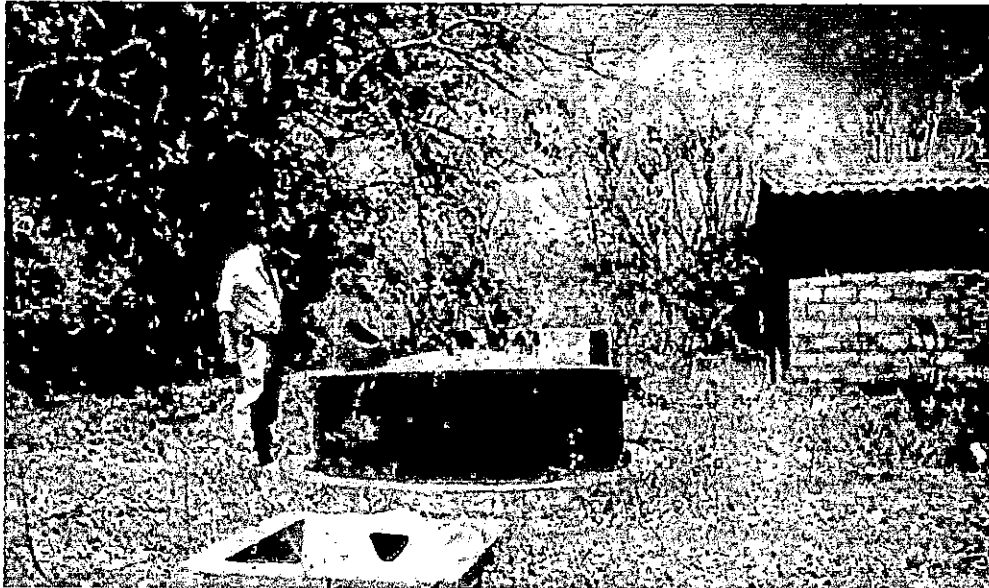
**Anexo A.7 Biodigestor doméstico rural en estado de abandono. las Chinamas, Ahuachapán**



**Anexo A.8 Biodigestor doméstico rural FRY. Las Chinamas, Ahuachapán**



**Anexo A.9 Biodigester doméstico rural ubicado en la Hacienda "La Escondida"**



**Anexo A.10 Biodigester educativo tipo Hindú ubicado en la Escuela Nacional de Agricultura (San Andres, Santa Ana)**



**Anexo A.11 Biodigester educativo tipo ICAITI ubicado en la Escuela Nacional de Agronomía (San Andres, Santa Ana)**



**Anexo A.12 Biodigester educativo tipo ICAITI ubicado en la Escuela Nacional de agronomía (San Andres, Santa Ana)**

## **ANEXO B**

### **MODELO DE ENCUESTA BIODIGESTORES DOMESTICOS RURALES EN DESUSO**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

**INSTRUMENTO DE EVALUACION  
DIGESTORES DOMESTICOS RURALES EN DESUSO**

Investigación de campo para la realización de trabajo de graduación "Diagnostico, Alternativas y Perspectivas de la Reactivación de la Tecnología del Biogas en El Salvador"

**DATOS GENERALES**

**Departamento:** \_\_\_\_\_ **Municipio:** \_\_\_\_\_

**Cantón:** \_\_\_\_\_ **Caserío:** \_\_\_\_\_

**Nombre de la Finca o Hacienda:** \_\_\_\_\_

**Nombre del entrevistador:** \_\_\_\_\_

**Fecha:** \_\_\_\_\_

**I. Apoyo Institucional**

1. ¿Quién financió el proyecto de construcción del biodigestor?

\_\_\_\_\_

2. ¿Recibió apoyo financiero por parte de alguna institución para el mantenimiento del equipo?

Sí  ¿Quién? \_\_\_\_\_

No

3. ¿Se realizaron otros proyectos para beneficio de su comunidad?

Sí  No

¿Cuales? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## II. Financiamiento para asesorías técnicas post-implantación.

1. ¿Recibió asesoría técnica después de la construcción del digestor?

Sí  No

Explique \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

2. ¿Por cuanto tiempo recibió asesoría técnica?

1-3 meses

3-6 meses

6 meses a 1 año

más

3. ¿Pudo resolver problemas mecánicos y de manejo del digestor gracias a la asesoría técnica?

Sí  No

4. En caso de tener fallas o problemas de operación del biodigestor, ¿sabía a quién acudir o contactar para resolverlos?

Sí  ¿Quién? \_\_\_\_\_

No

5. ¿En que medida cree que la asesoría técnica es importante para el buen funcionamiento del digestor?

Muy Importante  Importante  Poco importante

## III. Nivel económico de las familias

1. ¿Cuántos eran los miembros de su familia cuando funcionaba el digestor? \_\_\_\_\_

2. ¿A qué se dedicaba su familia?

Agricultura

Ganadería o crianza de animales

Otros \_\_\_\_\_

3. ¿Tenía capacidad económica para costear alguna reparación mecánica del digestor con fondos propios?

Sí  No

4. ¿Cree que de haber tenido un crédito para operar el digestor hubiese podido resolver algunos problemas?

Sí  No

Explique \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

5. ¿Cree que la tecnología del biogas le ayudaba a la economía familiar?

Sí  No



¿Cómo? \_\_\_\_\_

#### IV. Educación

- ¿Sabe usted leer y escribir?  
Sí  No
- ¿Que grado académico (o escolar) poseía?  
Ninguno   
1º -6º grado   
7º-9º grado   
Bachillerato   
Estudios universitarios

#### V. Conciencia social y ambiental

- ¿Recibió algún tipo de información (charlas, boletines, folletos, etc) sobre medio ambiente, y salud?  
Sí  No
- ¿Cree que al utilizar la tecnología del biogas se contribuye al bienestar del medio ambiente?  
Sí  No   
¿Cómo? \_\_\_\_\_

#### VI. Nivel de organización de la comunidad

- ¿Pertenece a alguna asociación cooperativa u otra forma de organización campesina?  
Sí  No

#### VII. Diseño del biodigestor

- Que tipo de digestor utilizó: \_\_\_\_\_
- ¿Cuál era la capacidad? \_\_\_\_\_
- ¿Dimensiones del digestor? Largo \_\_\_\_\_ Ancho \_\_\_\_\_ Profundidad \_\_\_\_\_
- ¿El equipo digestor satisfacía su demanda?  
Sí  No   
¿Porqué? \_\_\_\_\_
- ¿En qué medida se le facilitaba operar el biodigestor?  
Bastante  Un poco  Nada
- ¿Cuál era el tiempo de vida útil del biodigestor?  
1-5 años   
5-10 años

10 o más años

### VIII. Materia prima

1. ¿Qué sustrato utilizaba para la producción de biogas?

- Estiércol bovino   
 Estiércol porcino   
 Mezcla Bovino-porcino   
 Gallinaza   
 Rastrojos agrícolas   
 Otros \_\_\_\_\_

2. ¿En que medida se le facilitaba la recolección de la materia prima?

- Bastante  Un poco  Nada

3. ¿Disponía de una fuente de agua cerca de su hogar?

- Sí  No

- Abundante (Todo el año\_\_\_\_ Invierno\_\_\_\_ Verano\_\_\_\_)  
 Regular (Todo el año\_\_\_\_ Invierno\_\_\_\_ Verano\_\_\_\_)  
 Escasa (Todo el año\_\_\_\_ Invierno\_\_\_\_ Verano\_\_\_\_)

4. ¿Producía suficiente materia prima para operar un equipo digestor?

- Sí  No  Cantidad: \_\_\_\_\_

5. ¿Cuál considera usted que era el principal problema para preparar la mezcla?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

### IX. Uso o aplicación

1. ¿Qué uso le daba al biogas?

- Cocina   
 Alumbrado   
 Motor   
 Bioabono   
 Otros \_\_\_\_\_

2. ¿Le hubiese interesado utilizar el biogas en otras aplicaciones?

- Sí  No   
 ¿Cuales? \_\_\_\_\_

3. ¿En que medida la aplicación del biogas en su hogar satisfacía sus necesidades?

- Bastante  Un poco  Nada

4. ¿Notó usted algún cambio en su calidad de vida durante el funcionamiento del digestor?

- Sí  No   
 Explique \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

5. ¿Poseía energía eléctrica en su hogar?

Sí  No

6. ¿Poseía motogenerador (diesel o gasolina)?

Sí  No

7. ¿Qué hacía con el efluente que salía del digester?

Lo utilizaba como abono

Lo botaba

Porqué? \_\_\_\_\_

## X. Capacitación técnica.

1. ¿Recibió capacitación técnica sobre el biodigester?

Sí  No

2. ¿Qué se le enseñó en la capacitación técnica de forma práctica?

Forma de carga y descarga

Medir pH

Control de pH

Detección de fugas

Disponibilidad de gas

Problemas comunes y como resolverlos

3. ¿Qué recursos didácticos utilizaron?

Charlas explicativas

Folleto informativos

Videos

Otros

4. ¿Se les dio a conocer donde podían adquirir materiales o instrumentos (por ejemplo: papel pH, cal, guantes, botas, tuberías etc.) para facilitar la operación del biodigester o para resolver algunos problemas?

Sí  No

5. ¿Qué problemas se le presentaron en el manejo del biodigester?

- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

## XI. Condiciones salubres e higiénicas

1. ¿Notó alguna disminución en la cantidad de insectos proliferadores de enfermedades?

Sí  No

2. ¿Notó alguna disminución de enfermedades gastrointestinales en los miembros de su familia?

Sí  No

3. ¿Notó alguna disminución de enfermedades respiratorias en los miembros de su familia?  
 Si  No
4. ¿Qué utilizaba como protección personal para el manejo de la materia prima?  
 Nada   
 Botas   
 Palaş   
 Guantes   
 Mascarilla   
 Otros \_\_\_\_\_

### XI. Conservación del medio ambiente

1. ¿Disminuyo la cantidad de leña que utiliza?  
 Totalmente  Bastante  Un poco  Nada
2. ¿En qué medida se ha disminuyo la contaminación por estiércol?  
 Totalmente  Bastante  Un poco  Nada

### XII. Perspectivas

1. ¿Qué recomendaciones daría a los Organismos Financieros y otros, para la implantación de la tecnología del biogas?  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_
2. ¿Porqué adoptó la tecnología del biogas?  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_
3. ¿Recomendaría usted el uso de un biodigestor a sus amigos o vecinos?  
 Sí  No   
 Porqué? \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_
4. ¿Cuales fueron las causas principales por las que el biodigestor dejo de funcionar?  
 ■ \_\_\_\_\_  
 ■ \_\_\_\_\_  
 ■ \_\_\_\_\_  
 ■ \_\_\_\_\_  
 ■ \_\_\_\_\_

## **ANEXO C**

### **MODELO DE ENCUESTA BIODIGESTORES DOMESTICOS RURALES EN FUNCIONAMIENTO**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

**INSTRUMENTO DE EVALUACION  
DIGESTORES DOMESTICOS RURALES EN FUNCIONAMIENTO**

Investigación de campo para la realización de trabajo de graduación "Diagnostico, Alternativas y Perspectivas de la Reactivación de la Tecnología del Biogas en El Salvador"

**DATOS GENERALES**

**Departamento:** \_\_\_\_\_ **Municipio:** \_\_\_\_\_

**Cantón:** \_\_\_\_\_ **Caserío:** \_\_\_\_\_

**Nombre de la Finca o Hacienda:** \_\_\_\_\_

**Nombre del entrevistador:** \_\_\_\_\_

**Fecha:** \_\_\_\_\_

**I. Apoyo Institucional**

1. ¿Quién financió el proyecto de construcción del biodigestor?

\_\_\_\_\_

2. ¿Recibe apoyo financiero por parte de alguna institución para el mantenimiento del equipo?

Sí  ¿Quien

No  ¿Le gustaría recibir? Sí \_\_\_ No \_\_\_

¿Por qué? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

3. ¿Se han llevado a cabo otros proyectos de desarrollo que beneficien su comunidad?

Sí  No

¿Cuáles? \_\_\_\_\_

## II. Financiamiento para asesorías técnicas post-implantación.

1. ¿Recibió asesoría técnica después de la construcción del digestor?

Sí  No

No  ¿Le gustaría recibir? Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

¿Por qué? \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

2. ¿Por cuanto tiempo recibió asesoría técnica?

1-3 meses

3-6 meses

6 meses a 1 año

más

3. ¿Ha podido resolver los problemas mecánicos y de manejo del digestor gracias a la asesoría técnica?

Sí  No

4. En caso de fallas o problemas de operación del biodigestor, ¿sabía a quién acudir o contactar para resolverlos?

Sí  ¿Quién? \_\_\_\_\_

No

## III. Nivel económico de las familias

1. ¿Cuántos miembros tiene su familia? \_\_\_\_\_

2. ¿A qué se dedica su familia?

Agricultura

Ganadería o crianza de animales

Otros \_\_\_\_\_

3. ¿Considera que tiene la capacidad económica para costear alguna reparación mecánica del equipo digestor?

Sí  No

4. ¿Cree que la tecnología del biogas le ayuda en la economía familiar?

Sí  No

¿Cómo? \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_





### VIII. Materia prima

1. ¿Qué sustrato utiliza para la producción de biogas?

- Estiércol bovino   
 Gallinaza   
 Estiércol porcino   
 Rastrojos agrícolas   
 Mezcla Bovino-porcino   
 Otros \_\_\_\_\_

2. ¿En que medida se le facilita la recolección de la materia prima?

- Bastante  Un poco  Nada

3. ¿Dispone una fuente de agua cerca de su hogar? Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

Abundante (Todo el año \_\_\_\_\_ Invierno \_\_\_\_\_ Verano \_\_\_\_\_)

Regular (Todo el año \_\_\_\_\_ Invierno \_\_\_\_\_ Verano \_\_\_\_\_)

Escasa (Todo el año \_\_\_\_\_ Invierno \_\_\_\_\_ Verano \_\_\_\_\_)

Distancia: \_\_\_\_\_

4. ¿Produce suficiente materia prima para operar el equipo digestor?

Sí  Cantidad \_\_\_\_\_

No

5. ¿Ha cambiado el estiércol por otro material para cargar el digestor?

Sí  ¿Cuál? \_\_\_\_\_

No

6. ¿Cuál considera usted que es el principal problema para prepara la mezcla?

\_\_\_\_\_

### IX. Uso o aplicación

7. ¿Qué uso le da al biogas?

Cocina

Alumbrado

Motor

Bioabono

Otros \_\_\_\_\_

8. ¿Le gustaría utilizar el biogas para otras aplicaciones?

Sí  No

¿Cuáles? \_\_\_\_\_

5. ¿En que medida la aplicación del biogas en su hogar satisface sus necesidades?

Bastante  Un poco  Nada

6. ¿Siente algún cambio en su calidad de vida?

Sí  No

Explique \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

7. ¿Posee energía eléctrica en su hogar?

Sí  No

8. ¿Posee motogenerador (diesel o gasolina)?

Sí  No

9. ¿Qué hace con el efluente que sale del digestor?

Lo utilizaba como abono

Lo botaba

Porqué? \_\_\_\_\_

#### X. Capacitación técnica.

1. ¿Recibió capacitación?

Sí  No

2. ¿Qué se le enseñó en la capacitación técnica de forma práctica?

Forma de carga y descarga

Medir pH

Control de pH

Detección de fugas

Disponibilidad de gas

Problemas comunes y como resolverlos

3. ¿Qué recursos didácticos utilizaron?

Charlas explicativas

Folletos informativos

Videos

Otros

4. ¿Se les dio a conocer donde podían adquirir materiales o instrumentos (por ejemplo: papel pH, cal, guantes, botas, tuberías etc) para facilitar la operación del biodigestor o para resolver algunos problemas?

Sí  No

5. ¿Qué problemas se le han presentado en el manejo del biodigestor?

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

## IX. Condiciones salubres e higiénicas

1. ¿Han disminuido la cantidad de insectos proliferadores de enfermedades?

Si  No

2. ¿Han observado alguna disminución de enfermedades gastrointestinales en los miembros de su familia?

Si  No

3. ¿Ha notado alguna disminución de enfermedades respiratorias en los miembros de su familia?

Si  No

4. ¿Que utilizaba como protección personal para el manejo de la materia prima?

Nada

Botas

Palas

Guantes

Mascarilla

Otros \_\_\_\_\_

## XII Conservación del medio ambiente

1. ¿En que medida ha disminuido la cantidad de leña que utiliza?

Totalmente  Bastante  Un poco  Nada

2. ¿En qué medida se ha disminuido la contaminación por estiércol?

Totalmente  Bastante  Un poco  Nada

## XII. Perspectivas

1. ¿Qué recomendaciones daría a los Organismos Financieros y otros, para la implantación de la tecnología del biogas?

\_\_\_\_\_

2. ¿Porqué adoptó la tecnología del biogas?

\_\_\_\_\_

3. ¿Recomendaría usted el uso de un biodigestor a sus amigos o vecinos?

Sí  No

Porqué? \_\_\_\_\_

4. ¿Cuales fueron las causas principales por las que el biodigestor deajo de funcionar?

- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

## **ANEXO D**

### **MODELO DE ENCUESTA BIODIGESTORES DOMESTICOS RURALES EN CONSTRUCCION**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

**INSTRUMENTO DE EVALUACION  
DIGESTORES DOMESTICOS RURALES EN CONSTRUCCION**

Investigación de campo para la realización de trabajo de graduación "Diagnostico, Alternativas y Perspectivas de la Reactivación de la Tecnología del Biogas en El Salvador"

**DATOS GENERALES**

**Departamento:** \_\_\_\_\_ **Municipio:** \_\_\_\_\_

**Cantón:** \_\_\_\_\_ **Caserío:** \_\_\_\_\_

**Nombre de la Finca o Hacienda:** \_\_\_\_\_

**Nombre del entrevistado:** \_\_\_\_\_

**Fecha:** \_\_\_\_\_

**I. Apoyo Institucional**

3. ¿Quién financia el proyecto de construcción del biodigestor?

\_\_\_\_\_

4. ¿Recibirá apoyo financiero por parte de alguna institución para el mantenimiento del equipo?

Sí  ¿Quién? \_\_\_\_\_

No

5. ¿Se realizan otros proyectos para beneficio de su comunidad?

Sí  No

¿Cuales?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## II. Financiamiento para asesorías técnicas post-implantación.

1. ¿Recibirá asesoría técnica después de la construcción del digestor?

Sí

No  ¿Le gustaría recibir? Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

¿Por qué? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

2. En caso de tener fallas o problemas de operación del biodigestor, ¿sabe a quién acudirá o contactar para resolverlos?

Sí  ¿Quién? \_\_\_\_\_

No

## III. Nivel económico de las familias

1. ¿Cuántos miembros tiene su familia? \_\_\_\_\_

2. ¿A qué se dedica su familia?

Agricultura

Ganadería o crianza de animales

Otros \_\_\_\_\_

3. ¿Considera que tiene la capacidad económica para costear alguna reparación mecánica del digestor con fondos propios en el futuro?

Sí  No

4. ¿Cree que la tecnología del biogas le ayudará a la economía familiar?

Sí  No

¿Comó? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## IV. Educación

1. ¿Sabe usted leer y escribir?

Sí  No

2. ¿Que grado académico (o escolar) posee?

Ninguno

1º -6º grado

7º-9º grado

Bachillerato

Estudios universitarios

## V. Conciencia social y ambiental

1. ¿Recibe algún tipo de información (charlas, boletines, folletos, etc) sobre medio ambiente, y salud?  
Sí  No
2. ¿Cree que al utilizar la tecnología del biogas se contribuye al bienestar del medio ambiente?  
Sí  No   
¿Comó? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## VI. Nivel de organización de la comunidad

1. ¿Pertenece a alguna asociación cooperativa u otra forma de organización campesina?  
Sí  No   
  
Si la respuesta es no, ¿le gustaría pertenecer a alguna?  
Sí  No

## VII. Diseño del biodigestor

1. ¿Qué tipo de digestor utilizará?: \_\_\_\_\_
2. ¿Cuál será la capacidad? \_\_\_\_\_
3. ¿Dimensiones del digestor? Largo \_\_\_\_\_ Ancho \_\_\_\_\_ Profundidad \_\_\_\_\_
4. ¿Cuál será el tiempo de vida útil estimada del biodigestor?  
1-5 años   
5-10 años   
10 o más años

## VIII. Materia prima

1. ¿Qué sustrato utilizará para la producción de biogas?  
Estiércol bovino   
Estiércol porcino   
Mezcla Bovino-porcino   
Gallinaza   
Rastrojos agrícolas   
Otros \_\_\_\_\_
2. ¿En qué medida se le facilitará la recolección de la materia prima?  
Bastante  Un poco  Nada
21. ¿Dispone de una fuente de agua cerca de su hogar? Sí  No

Abundante (Todo el año\_\_\_ Invierno\_\_\_ Verano\_\_\_)  
 Regular (Todo el año\_\_\_ Invierno\_\_\_ Verano\_\_\_)  
 Escasa (Todo el año\_\_\_ Invierno\_\_\_ Verano\_\_\_)  
 Distancia: \_\_\_\_\_

22. ¿Producirá suficiente materia prima para operar un equipo digestor?

Sí  No  Cantidad: \_\_\_\_\_

### IX. Uso o aplicación

1. ¿Qué uso le dará al biogas?

Cocina

Alumbrado

Motor

Bioabono

Otros \_\_\_\_\_

2. ¿Le interesa utilizar el biogas en otras aplicaciones?

Sí  No

¿Cuales? \_\_\_\_\_

3. ¿Posee energía eléctrica en su hogar?

Sí  No

4. ¿Posee motogenerador (diesel o gasolina)?

Sí  No

5. ¿Qué hará con el efluente que salga del digestor?

Lo utilizará como abono

Lo botará  Porqué? \_\_\_\_\_

### X. Capacitación técnica.

1. ¿Recibe capacitación técnica sobre el biodigestor?

Sí  No

2. ¿Qué se le enseña en la capacitación técnica de forma práctica?

Forma de carga y descarga

Medir pH

Control de pH

Detección de fugas

Disponibilidad de gas

Problemas comunes y como resolverlos



## 3. Qué recursos didácticos utilizan?

- Charlas explicativas   
 Folletos informativos   
 Videos   
 Otros

## 4. ¿Se les ha dado a conocer donde pueden adquirir materiales o instrumentos (por ejemplo: papel pH, cal, guantes, botas, tuberías etc.) para facilitar la operación del biodigestor o para resolver algunos problemas?

Sí  No

**XI. Condiciones salubres e higiénicas**

## 1. ¿Que utilizará como protección personal para el manejo de la materia prima?

- Nada   
 Botas   
 Palas   
 Guantes   
 Mascarilla   
 Guantes   
 Otros \_\_\_\_\_

**XII. Perspectivas**

## 1. ¿Qué recomendaciones daría a los Organismos Financieros y otros, para la implantación de la tecnología del biogas?

---



---



---

## 2. ¿Por qué adoptará la tecnología del biogas?

---



---



---

## 3. ¿Recomendaría usted el uso de un biodigestor a sus amigos o vecinos?

Sí  No

Porqué? \_\_\_\_\_

---

## **ANEXO E**

**MODELOS DE GUIAS DE OBSERVACION PARA  
EVALUAR ASPECTOS DESCRIPTIVOS BASICOS DEL  
TIPO DE VIVIENDA DE FAMILIAS RURALES QUE POSEEN  
DIGESTORES DOMESTICOS**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

**GUIA DE OBSERVACION  
DIGESTORES DOMESTICOS RURALES EN USO**

Investigación de campo para la realización de trabajo de graduación "Diagnostico, Alternativas y Perspectivas de la Reactivación de la Tecnología del Biogas en El Salvador".

**DATOS GENERALES**

**Departamento:** \_\_\_\_\_ **Municipio:** \_\_\_\_\_

**Cantón:** \_\_\_\_\_ **Caserío:** \_\_\_\_\_

**Nombre de la Finca o Hacienda:** \_\_\_\_\_

**Fecha:** \_\_\_\_\_

**Familia.**

Miembros de la familia: \_\_\_\_\_

**Vivienda**

Tipo de vivienda	Tipo de piso	Tamaño*	Comodidad

\* Aproximado.

**Servicios Básicos**

Luz eléctrica	Agua potable

**Actividad económica**

Agricultura	Ganadería

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

**GUIA DE OBSERVACION  
DIGESTORES DOMESTICOS RURALES EN CONSTRUCCIÓN**

Investigación de campo para la realización de trabajo de graduación "Diagnostico, Alternativas y Perspectivas de la Reactivación de la Tecnología del Biogas en El Salvador".

**DATOS GENERALES**

**Departamento:** \_\_\_\_\_ **Municipio:** \_\_\_\_\_

**Cantón:** \_\_\_\_\_ **Caserío:** \_\_\_\_\_

**Nombre de la Finca o Hacienda:** \_\_\_\_\_

**Fecha:** \_\_\_\_\_

**Familia.**

Miembros de la familia: \_\_\_\_\_

**Vivienda**

Tipo de vivienda	Tipo de piso	Tamaño*	Comodidad

\* Aproximado.

**Servicios Básicos**

Luz eléctrica	Agua potable

**Actividad económica**

Agricultura	Ganadería



**ANEXO F**

**MANUAL DE HIGIENE Y SEGURIDAD PARA EL**

**MANEJO DE BIODIGESTORES DOMESTICOS**

**RURALES**

## **MANUAL DE HIGIENE Y SEGURIDAD** **PARA EL MANEJO DE BIODIGESTORES**

Los biodigestores son equipos muy útiles y de gran beneficio social, económico y ambiental, siempre y cuando se tomen en cuenta medidas de precaución y seguridad en el manejo de la materia prima y del producto final (metano, CH<sub>4</sub>).



Son de gran beneficio social y económico porque ayudan a mantener limpio y saludable el entorno de las familias y les proporciona un combustible barato para aplicaciones de cocina, alumbrado, etc, así como también de bioabono para sus cosechas.



Son de beneficio ecológico porque ayudan a conservar los recursos forestales y a disminuir la contaminación por humo en el aire, en las zonas rurales.

Para poder lograr todos estos beneficios con el éxito esperado es necesario seguir ciertas normas y recomendaciones para el manejo correcto del equipo digestor, de tal manera que no se vean afectadas la salud y el medio ambiente de las familias involucradas durante la operación del mismo.

### **Recomendaciones en el Manejo de Materia Prima**

La materia prima está constituida por desechos de origen orgánico y por lo tanto son portadores de bacterias, hongos, gérmenes, parásitos y otros microorganismos dañinos para la salud humana.

El mal manejo de la materia prima tales como estiércol de ganado, cerdo o gallinaza, puede traer como consecuencia enfermedades infecciosas. A

DEPARTMENT OF THE ARMY  
OFFICE OF THE ADJUTANT GENERAL

1. The Adjutant General is the principal administrative officer of the Army. He is responsible for the management of the personnel, administrative, and financial affairs of the Army. He is also responsible for the management of the Army's property and for the maintenance of the Army's records.

2. The Adjutant General is a member of the Staff of the Chief of Staff. He is also a member of the Staff of the Adjutant General. He is responsible for the management of the Army's personnel, administrative, and financial affairs. He is also responsible for the management of the Army's property and for the maintenance of the Army's records.



3. The Adjutant General is a member of the Staff of the Chief of Staff. He is also a member of the Staff of the Adjutant General. He is responsible for the management of the Army's personnel, administrative, and financial affairs. He is also responsible for the management of the Army's property and for the maintenance of the Army's records.



4. The Adjutant General is a member of the Staff of the Chief of Staff. He is also a member of the Staff of the Adjutant General. He is responsible for the management of the Army's personnel, administrative, and financial affairs. He is also responsible for the management of the Army's property and for the maintenance of the Army's records.

DEPARTMENT OF THE ARMY  
OFFICE OF THE ADJUTANT GENERAL

5. The Adjutant General is the principal administrative officer of the Army. He is responsible for the management of the personnel, administrative, and financial affairs of the Army. He is also responsible for the management of the Army's property and for the maintenance of the Army's records.

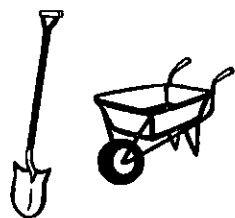
6. The Adjutant General is a member of the Staff of the Chief of Staff. He is also a member of the Staff of the Adjutant General. He is responsible for the management of the Army's personnel, administrative, and financial affairs. He is also responsible for the management of the Army's property and for the maintenance of the Army's records.



continuación se detallan algunas recomendaciones a seguir para su adecuado uso:



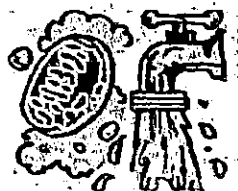
1. Utilizar para la recolección de la materia prima, guantes que protejan las manos del contacto directo con los desechos orgánicos.



2. Utilizar palas y carretilla para el transporte de la materia prima hacia el equipo biodigestor.



3. Utilizar mascarillas en el momento de manipular la materia prima, así como también botas de protección para los pies.



4. Lavarse las manos después de manipular la materia prima con abundante agua y jabón.



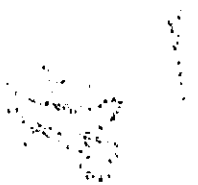
5. En caso de malestar, diarrea o vómitos visite el centro médico más cercano.

... ..

... ..



... ..



... ..



... ..



... ..



## Recomendaciones para el Manejo del Equipo

Los biodigestores son equipos que requieren atención en su operación, ya que el gas resultante es muy inflamable, en el anexo G se presentan las propiedades físicas de los componentes del biogas.



Por lo que se proporcionan las siguientes recomendaciones:

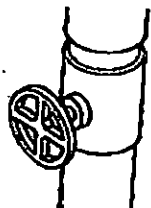


1. No fumar cerca del equipo.

2. No provocar chispas cerca del biodigestor para evitar posibles incendios, ya que el metano es inflamable.



3. Poseer algún tipo de extintor, manguera o tener una fuente de agua cercana al biodigestor para sofocar posibles incendios.



4. Cerrar la llave del gas después de utilizarlo.



5. Inspeccionar por lo menos cada 15 días el sistema de conducción del biogas, para verificar su buen estado y detectar posibles fugas. Se puede detectar fugas también por medio del olfato ya que el biogas tiene un olor característico a huevo en descomposición causado por su contenido de ácido sulfídrico ( $H_2S$ ).

1. Introduction

The purpose of this study is to investigate the effects of various factors on the performance of a system. The study is divided into several sections, each focusing on a different aspect of the system's performance.

2. Methodology

The methodology used in this study is a combination of experimental and analytical methods. The experimental part involves the use of a test rig to measure the system's performance under various conditions.

3. Results

The results of the study show that the system's performance is significantly affected by the input parameters. The most significant factor is the input power, which has a direct impact on the system's output.



The data indicates that as the input power increases, the system's efficiency also increases, but at a decreasing rate. This suggests that there is an optimal input power level for maximizing efficiency.



The study also shows that the system's performance is relatively insensitive to changes in the input frequency, which is an important finding for practical applications.



In conclusion, the study has shown that the system's performance is primarily determined by the input power. The results provide valuable insights into the system's behavior and can be used to optimize its performance. Further research is needed to explore the effects of other factors on the system's performance.



## **ANEXO G**

### **PROPIEDADES FISICAS DE LOS COMPONENTES DEL BIOGAS**

### PROPIEDADES FISICAS

Componentes	Metano	Dióxido de Carbono	Acido Sulfhídrico
Fórmula	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S
Peso Molecular	16.03	44.00	34.08
Punto de fusión (°C)	-182.44	-56.6	-83.8
Punto de ebullición (°C)	-161.49	-78.5	-60.2
Poder calorífico (kcal/m <sup>3</sup> )	9120.00	-	5759.00
Temp. De ignición espontánea (°C)	650	-	-

### COMPOSICION DEL BIOGAS

Componente	Porcentaje
Metano, CH <sub>4</sub>	59.00
Dióxido de carbono, CO <sub>2</sub>	38.00
Hidrógeno, H <sub>2</sub>	1.50
Nitrógeno, N <sub>2</sub>	1.00
Sulfuro de hidrógeno, H <sub>2</sub> S	0.50

**ANEXO H**  
**CALCULO DE LA AMPLIACION DEL INYECTOR**  
**PARA QUEMADORES DE ESTUFAS**  
**COMERCIALES**

## CALCULO DE LA AMPLIACION DEL INYECTOR PARA QUEMADORES DE ESTUFAS COMERCIALES

La adaptación que hay que hacerle a los quemadores diseñados para funcionar con gas L.P. (gas licuado de petróleo: propano, butano) para que funcionen con biogás es muy sencilla; consiste en cambiar el tamaño del agujero del inyector para que proporcione la cantidad de biogás que suministre el mismo flujo calorífico que el L.P., con la presión de trabajo que se tendrá; las otras partes del quemador no se modifican. Este cálculo se explica detalladamente a continuación (Ver Figura A3).

### Intercambiabilidad de gases

Una combustión perfecta es aquella que provoca oxidaciones completas sin la producción de monóxido de carbono, partículas sólidas de carbono, etc.

Se dice que dos gases son "intercambiables" en un quemador, cuando éste no requiere de ninguna modificación para que se produzca una perfecta combustión con cualquiera de ellos, y ambos producen el mismo flujo calorífico,  $Q$  (kcal/h), sin cambios en la llama (aparición de zonas amarillas, despegues, retrocesos, etc.).

Como el poder calorífico del biogás es más bajo que el de los gases L.P., cuando se sustituyen éstos por aquél, no existe intercambiabilidad.

### Indice de Wobbe (W)

La cantidad de calor entregado por un quemado de gas en un tiempo dado es determinado por cuatro factores, que son:

1. El tamaño del orificio de salida del gas (inyector)
2. La diferencia de presión que se produce al paso del gas por el orificio.
3. El poder calorífico del gas
4. La densidad relativa del gas

Si para un quemador dado, las primeras dos características son fijas, entonces la capacidad térmica será proporcional al poder calorífico máximo del gas, e inversamente proporcional a la densidad relativa del gas.



$$C \text{ Térmica} = K \left[ \frac{P_c \text{ máx.}}{\sqrt{w}} \right]$$

La expresión entre corchetes se denomina Índice de Wobbe (W) y su valor numérico depende de las unidades elegidas para el poder calorífico y la densidad relativa.

Entonces el flujo calorífico kcal/h entregado por un quemador está dado por la siguiente expresión:

$$Q_c = KS \left[ \frac{P_c \text{ máx}}{\sqrt{w}} \right] \cdot \sqrt{P}$$

$Q_c$  = Flujo calorífico (Kcal h)

$K$  = Constante que es función de las unidades, de la forma del orificio y de la temperatura.

$S$  = Area de inyector ( $\text{cm}^2$ )

$P_c \text{ máx}$  = Poder calorífico máximo del gas

$w$  = Densidad relativa (aire,  $w = 1$ )

$P$  = Presión relativa del gas antes del inyector en mm de Cal. de agua.

o sea:

$$Q_c = K S W \sqrt{P} \quad (1)$$

Este Índice de Wobbe, W, ha sido propuesto por la Unión Internacional de la Industria del gas, y existe una clasificación de los diferentes gases combustibles en cuatro grupos, según su Índice de Wobbe:

Índice de Wobbe (kcal/m <sup>3</sup> )	Grupo
2 500 a 4 500	1
4 500 a 9 000	2
9 000 a 14 000	3
18 000 a 22 000	4

### Aplicación del índice de Wobbe en la intercambiabilidad de gases.

Los gases combustibles más comunes se clasifican de la forma siguiente:

Combustible	Índice de Wobbe	Grupo
Biogás	5 300 Kcal/m <sup>3</sup>	2do.
Gas natural	12 000 Kcal/m <sup>3</sup>	3ro.
Gas L. P.	19 000 Kcal/m <sup>3</sup>	4to.

Cuando se desea sustituir gas L. P. por biogás, se tiene el caso de un gas del segundo grupo que se usará en aparatos diseñados para el cuarto, y no existe intercambiabilidad. En aquellos casos en los que se desea lograr un cambio permanente será necesario hacerle modificaciones definitivas al quemador, según el gas de que se trate y su presión de trabajo.

Como lo que se desea es conservar el mismo flujo calorífico, entonces debe cumplirse la siguiente condición

$$Q_{c1} = Q_{c2}$$

$Q_{c1}$  : Flujo calorífico de propano

$Q_{c2}$  : Flujo calorífico de biogás

Además, con base en ecuación (1):

$$K_1 S_1 W_1 \sqrt{P_1} = K_2 S_2 W_2 \sqrt{P_2}$$

Como las condiciones de temperatura y las formas de los orificios de los inyectores son similares, la constante K es semejante en ambos casos; luego la igualdad anterior puede escribirse así:

$$S_1 W_1 \sqrt{P_1} = S_2 W_2 \sqrt{P_2}$$

**Ejemplo:** Calcular el nuevo diámetro del inyector para modificar una estufa de propano que se usará con biogás. Se tienen las condiciones siguientes:

- 1) presión del propano:  $P_1 = 254$  mm columna de agua
- 2) diámetro del inyector:  $\phi_1 = 0.5$  mm
- 3) presión de trabajo del biogás:  $P_2 = 100$  mm col. de agua

Datos.

$$\phi_1 = 0.5 \text{ mm.}$$

$$P_1 = 254 \text{ mm columna de agua}$$

$$W_1 = 19\,000 \text{ Kcal/m}^3$$

$$P_2 = 100 \text{ mm columna de agua}$$

$$W_2 = 5\,300 \text{ Kcal/m}^3$$

El área del agujero es:  $S_1 = \pi r_1^2 = \pi (0.25)^2 = 0.196 \text{ mm}^2$

Luego:

$$(0.196) (19\,000) \sqrt{254} = (S_2) (5\,300) \sqrt{100}$$

$$S_2 = 1.12 \text{ mm}^2$$

$$d_2 = 2 \sqrt{\frac{1.12}{\pi}} = 1.19 \text{ mm}$$

$$d_2/\phi_1 = \frac{1.19}{0.5} = 2.38 \text{ mm}$$

El nuevo diámetro es 2.38 veces el diámetro original.

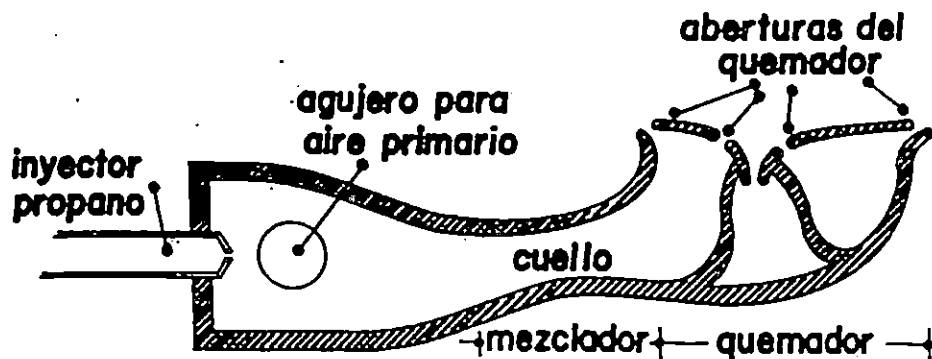


FIGURA A3. quemador para estufa de propano

# **ANEXO I**

## **CALCULO DEL AIRE PRIMARIO EN QUEMADORES FABRICADOS PARA FUNCIONAR CON BIOGAS**

## CALCULO DEL AIRE PRIMARIO EN QUEMADORES FABRICADOS PARA FUNCIONAR CON BIOGAS

### Principios generales.

El análisis que aquí se expone está basado en el principio de funcionamiento de los quemadores tipo Bunsen que se ilustra en la Figura 11. El quemador Bunsen permite obtener llamas con poca luz pero muy calientes, a partir de gases combustibles.

La presión a que se suministra el gas permite que se mezcle con aire en una etapa previa a la combustión (aire primario).

Esta mezcla se produce por el "efecto del inyector", que consiste, en líneas generales, en lo siguiente: Por un tubo relativamente ancho y abierto por ambos extremos, y que en su interior tenga una placa con un agujero, se hace pasar gas a presión; el chorro de gas se estrecha al pasar por el agujero, y luego se ensancha, lo que causa un vacío parcial; como consecuencia, si el tubo tiene un agujero cerca de la placa, del exterior es aspirado aire que se mezcla con el gas. Abriendo o cerrando este agujero puede regularse la cantidad de aire aspirada y, con esto, la composición de la mezcla aire-gas.

Según sea la proporción de la mezcla obtenida, así será la temperatura de la llama que se produce al encenderla.

El aire adicional que se necesita para una combustión completa del gas (aire secundario), lo toma la llama del medio circundante.

La mezcla aire-gas sale a una velocidad mayor que la máxima velocidad con que progresa la llama, por lo que ésta no puede retroceder.

Si entra poco aire debido a un mal ajuste de la corredera que regula la admisión, la llama se alarga y su temperatura es baja; si ocurre lo contrario, la llama resulta corta, y su temperatura es alta. Además, si la velocidad del aire primario es mucho mayor que la velocidad de la llama, ésta puede producirse lejos de la boquilla del mechero y apagarse.

### Recomendaciones.

Para que un quemador produzca una llama eficiente, deben cumplirse las siguientes condiciones:

- A.1 El área máxima de la entrada graduable del aire primario debe ser el doble de la superficie total de los orificios donde se produce la llama.

- A.2 El área de la sección transversal del tubo de mezclado debe ser el doble de la superficie total de los orificios donde se produce la llama.
- A.3 El área de la sección del cuello del quemador (dentro del cual el orificio inyecta el gas), debe ser dos tercios de la superficie de los orificios donde se produce la llama.

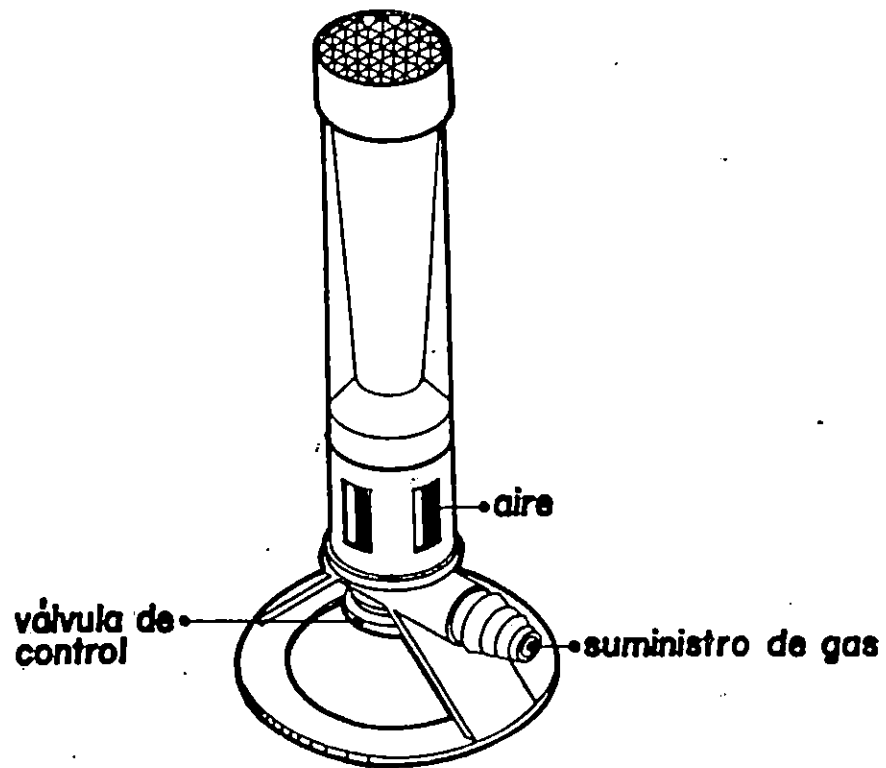


FIGURA I1. quemador tipo Bunsen

# **ANEXO J**

## **CALCULO DE LAS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE UN QUEMADOR**

**CALCULO DE LAS CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE UN QUEMADOR ESPECIAL PARA BIOGAS, CON BASE EN VALORES CONOCIDOS O ESTIMADOS DEL CONSUMO Y DE LA PRESION DE TRABAJO.**

Fórmula del suministro de gas por quemador:

$$Q = C S \sqrt{P/w}$$

- Q = Flujo de gas - equivalente al consumo de combustible (metros cúbicos por hora)
- C = Constante cuyo valor es función de: sistema de unidades usado, forma del orificio y temperatura (U, k, T)
- S = Area del orificio inyector (centímetros cuadrados).
- P = Presión (milímetros de columna de agua)
- w = Densidad relativa del gas (aire = 1)
- k = Coeficiente de 0.6 a 0.89. (0.61 para orificios de bordes afilados y 0.89 para orificio tubular).
- U = 1.445 para unidades SI (1 655 para unidades inglesas)
- T = 1 (Debido a que en nuestro medio el clima no tiene variaciones grandes de temperatura, este coeficiente no tiene efectos significativos sobre el valor de C).

**Ejemplo:** Calcular las dimensiones de: orificio inyector, orificio de aire primario, sección del cuello y sección del mezclador, para un quemador estrella, en unidades SI, con base en los datos siguientes:

- a) Consumo estrella:  $Q = 600 \text{ L/h} = 0.6 \text{ m}^3/\text{h}$
- b) Presión de trabajo:  $P = 100 \text{ mm de columna de agua}$
- c) Orificio de bordes afilados  $k = 0.61$



- d) 6 ramales
- e) 9 orificios de llama, diámetro de 3.175 mm (1/8"), por ramal
- f)  $C = kUT = (0.61) (1.445)(1) = 0.881$
- g)  $w =$  Densidad relativa del biogás  $= 0.861$
- I) Cálculo de las dimensiones del inyector de gas

$$Q = CS \sqrt{P/w}$$

$$0.6 = (0.881) (S) \sqrt{100/0.861}$$

Luego:

$$S = 0.0632 \text{ centímetros cuadrados}$$

$$S = \pi r^2 = 0.0632$$

$$r = 0.142 \text{ cm}$$

$$d = 2r = 0.284 \text{ cm}$$

## II) Cálculo de las dimensiones del orificio de aire primario

El orificio de aire primario graduable debe tener un área máxima equivalente al doble de la superficie de los agujeros de llama (Apéndice A1). De los datos sabemos que el quemador estrella tiene 6 ramales y cada uno tiene 9 agujeros de 3.175 mm (1/8") de diámetro.

Area de un agujero de llama ( $S_o$ ):

$$r_o = 3.175/2 = 1.5875 \text{ mm}$$

Luego:

$$S_o = \pi r^2 = \pi (1.5875)^2$$

$$= 7.917 \text{ mm}^2$$

$$S_o \text{ total} = (6) (9) (7.917) = 427.53 \text{ mm}^2$$

Area de agujero para aire primario ( $S_{ap}$ ):

$$S_{ap} = (2) (S \text{ total}) = (2) (427.53) = 855.07 \text{ mm}^2$$

$$\text{En un agujero, } r_{ap} = \sqrt{\frac{855.07}{\pi}} = 16.5 \text{ mm ; } d_{ap} = 33 \text{ mm}$$

$$\text{Para 2 agujeros, } r_{ap} = \sqrt{\frac{855.07}{2\pi}} = 11.67 \text{ mm ; } d_{ap} = 23.33 \text{ mm}$$

### III) Cálculo de las dimensiones del cuello

El área del cuello debe ser 2/3 del área total de los agujeros de llama (Apéndice A1), o sea,

$$S_c = 427.53 \times 2/3 = 285.02 \text{ mm}^2$$

$$d_c = 2 \sqrt{\frac{285.02}{\pi}} = 19.05 \text{ mm}$$

### IV) Cálculo de las dimensiones del tubo de mezclado

Este cálculo de la superficie del área transversal del tubo de mezclado es el mismo que el que se ha hecho para el agujero del aire primario.

$$D_{tm} = 33 \text{ mm}$$

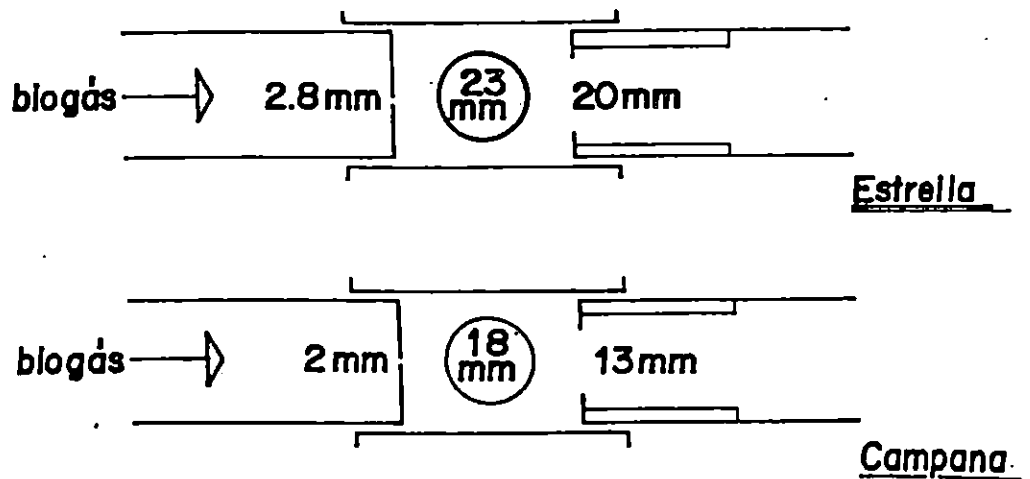


FIGURA A2. dimensiones de quemadores para estufa

## VALVULA DE PRESION

Esta válvula fue originalmente diseñada para sistemas en los que el biogás se almacena en una bolsa ahulada que se instala separada del digestor; en estas condiciones, la presión del gas no puede elevarse a más de 3 cm de columna de agua, con lo que la iluminación que producen las lámparas es débil.

Esta válvula sirve para aumentar la presión del biogás en la tubería que alimenta las lámparas. Se puede alcanzar presiones suficientes para que las lámparas funcionen de manera eficiente y satisfactoria (de 7.5 a 10 cm. de columna del agua).

Una limitación que tiene este tipo de válvula es que, aunque se logre obtener la presión adecuada, el consumo de los equipos o lámparas no puede ser mayor que la producción del digestor.

### Piezas de que consta la válvula

La válvula se fabrica con accesorios de PVC, de fácil adquisición en el mercado nacional, según la lista siguiente:

- 1) 2 tapones de 102 mm (4")
- 2) 1 Tubo de 102 mm x 305 mm (4" x 12")
- 3) 1 "Te" de 13 mm (1/2")
- 4) y 4) 2 tubos de 13 mm x 105 mm (1/2" x 4")
- 5) 3 adaptadores machos de 13 mm (1/2")
- 6) 2 Codos de 90° de 13 mm (1/2")
- 7) 1 adaptador hembra de 13 mm (1/2")
- 8) 3 tubos de 13 mm x 50 mm (1/2" x 2")

### Cómo funciona la válvula (Figura A4)

El tubo de gas conectado al digestor se acopla a la "Te" (3) de la válvula; ésta se une con el tubo que alimenta a las lámparas. Como normalmente el consumo es mucho menor que lo que el digestor produce, el gas se acumula y aumenta así la presión en la tubería hasta que el gas comienza a burbujear y pasa a la parte superior de la válvula; de aquí fluye hacia la bolsa ahulada que alimenta a otros equipos que no necesitan mucha presión tales como motores.

La presión requerida puede ser controlada por el nivel de agua en el tubo (4).

Esta válvula puede funcionar también como trampa de agua si se coloca en la sombra y en el punto más bajo de la tubería que une el digestor con la lámpara. Y también puede funcionar como válvula de seguridad en digestores con almacenamiento interno, ya que evita que la presión suba a valores peligrosos que causen daños en la losa del digestor.

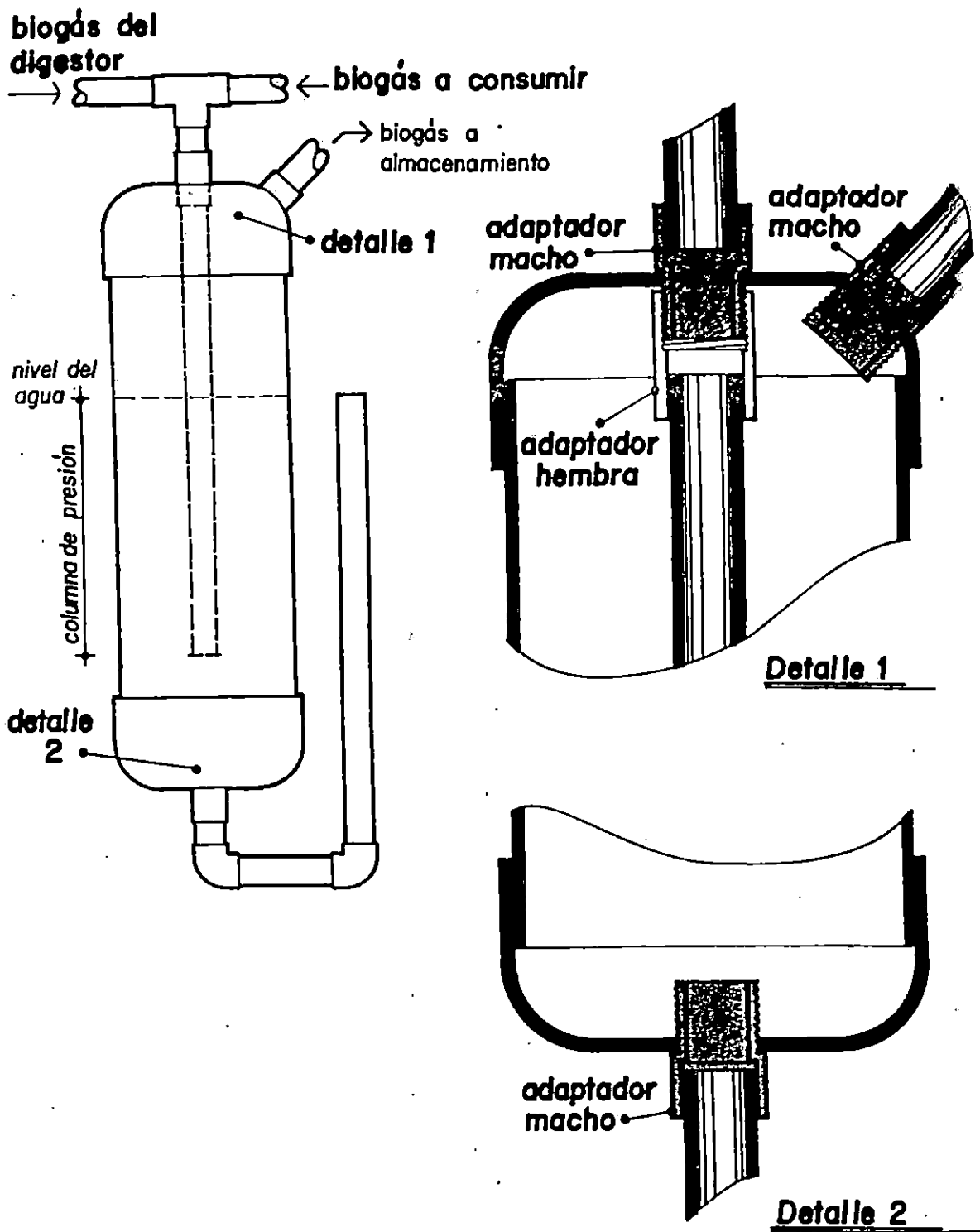


FIGURA A4. válvula de presión

# **ANEXO L**

## **CALCULOS PARA LÁMPARAS DE BIOGAS**

## CALCULOS PARA LAMPARAS DE BIOGAS

### I) Lámparas especiales hechas con accesorios de hierro galvanizado.

Una de las características que deben calcularse es el tamaño del inyector, y para eso, también se puede usar la fórmula

$$Q = CS \sqrt{P/w}$$

que se emplea para flujo en orificios. El tamaño adecuado del inyector es el que permite mantener un flujo constante de la mezcla correcta de aire y biogás.

Las dimensiones del inyector dependen del número de camisas que la lámpara tenga.

Consumo de una lámpara, según el número de camisas.

1 camisa:	0.08	a	0.1	L/h de biogás
2 camisas:	0.125	a	0.15	L/h de biogás
3 camisas:	0.175	a	0.2	L/h de biogás

Además del cálculo de las dimensiones del inyector apropiado, se necesita calcular el tamaño del agujero de admisión de aire primario; las recomendaciones de expertos chinos indican que el área del agujero para aire primario debe ser 300 veces el área del inyector; si S es el área del inyector, se tiene:

$$A_{ap} = 300 S$$

La sección de la garganta del tubo mezclador debe tener un diámetro entre 4.8 mm y 9.5 mm (3/16" y 3/8"), y una longitud que como mínimo sea igual al doble de su diámetro.

El diámetro del tubo mezclador debe medir entre 9.5 mm y 13 mm (3/8" y 1/2"); su longitud debe ser entre 101 mm y 152 mm (4" y 6").

Ejemplo. Calcular las características del mezclador de una lámpara de camisa con un consumo de 100 L/h, un inyector tubular y una presión de trabajo de 100 mm de columna de agua.

$$Q = CS \sqrt{P/w}$$

Datos:

$$Q = 100 \text{ L/h} = 0.1 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$C = (1.445 \times 0.89 \times 1); \text{ esta constante en funci3n del sistema de unidades usadas, el factor de contracci3n de descarga y de la temperatura.}$$

$$P = 100 \text{ mm de columna de agua}$$

$$w = 0.861$$

1) Inyector.

Sea  $S$  el 1rea del inyector en cent3metros cuadrados; entonces:

$$0.1 = (1.445 \times 0.89) \times S \sqrt{(100/0.861)}$$

$$S = 7.22 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$$

$$d = 2 \sqrt{S/\pi}$$

$$= 0.096 \text{ cm} = 1 \text{ mm}$$

2) Agujero para aire primario.

$$A_{ap} = 300S = 300(7.22)(10^{-3}) \text{ cm}^2$$

$$= 2.166 \text{ cm}^2$$

Si se usan 4 agujeros, el 1rea de cada uno ser1:

$$A_{ap}/4 = 2.166/4 = 0.5415 \text{ cm}^2$$

Luego, el di1metro de cada uno resulta:

$$d_{ap} = 2 \sqrt{0.5415/\pi} = 0.83 \text{ cm} = 8 \text{ mm}$$

3) Garganta del tubo mezclador.

Si se usa una copla de 6.3 mm (1/4") de di1metro, para el aire primario, un tubo de 6.3 mm (1/4") es apropiado para la garganta, ya que su di1metro resulta as3 de 9.5 mm (3/8").

## 4) Tubo mezclador

El mismo tubo usado para la garganta da el diámetro necesario para el mezclador; resta solamente cortar el tubo con una longitud entre 101 mm y 152 mm (4" y 6").

## 5) Esparcidor al que se amarra la camisa.

Puede usarse un reductor campana de 12.7 mm a 6.3 mm (1/2" a 1/4").

## II) Lámparas hechas para propano y adaptadas para biogás.

Se busca que el suministro de biogás al mezclador sea suficiente para producir el mismo flujo calorífico que el propano; como no hay intercambiabilidad de gases, es necesario hacer un ajuste en el diámetro del inyector.

$$Q_{c1} (\text{propano}) = Q_{c2} (\text{biogás})$$

$$C_1 S_1 W_1 \sqrt{P_1} = C_2 S_2 W_2 \sqrt{P_2}$$

$$\text{Como } C_1 = C_2$$

$$S_1 W_1 \sqrt{P_1} = S_2 W_2 \sqrt{P_2}$$

El único valor desconocido es  $S_2$ ; al despejar se tiene:

$$S_2 = \frac{S_1 W_1 \sqrt{P_1}}{W_2 \sqrt{P_2}}$$

Cuando se produzca llama en la camisa, es necesario hacer un arreglo en la garganta del tubo mezclador reduciendo su diámetro a un tamaño entre 6.3 mm y 7.9 mm (1/4" y 5/16"), y calcular de nuevo las dimensiones del agujero para aire primario de la misma manera que se indica en el problema anterior de este Apéndice.

$$A_{ap} = 300 S$$