

Evaluación de producción de biogás utilizando desechos porcícolas de Zamorano

Lizeth Limbania Aliaga Orellana

Zamorano, Honduras

**DESARROLLO SOCIOECONÓMICO Y AMBIENTE
Diciembre, 2006**

Evaluación de producción de biogás utilizando desechos porcícolas de Zamorano

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar al título
de Ingeniera en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente
en el grado académico de Licenciatura

Por:

Lizeth Limbania Aliaga Orellana

**Zamorano - Honduras
Diciembre, 2006**

La autora concede a Zamorano permiso
Para reproducir y distribuir copias de este
Trabajo para fines educativos. Para otras personas
Físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor

Lizeth Limbania Aliaga Orellana

Zamorano - Honduras
Diciembre, 2006

Evaluación de producción de biogás utilizando desechos porcícolas de Zamorano

Presentado por:

Lizeth Limbania Aliaga Orellana

Aprobada

Mily Cortés, Ph. D.
Asesora Principal

Mayra Falck, M. Sc.
Directora Carrera de Desarrollo
Socioeconómico y Ambiente

Carlos Quiroz, Ing.
Asesor

George Pilz, Ph. D.
Decano Académico

Raúl Botero Botero, M. Sc.
Asesor

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.
Rector

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso.

A Walter y Fely, mis amados padres.

A Nadir, Alison, Lucero, Samuel y Dorcas, mis hermanitos.

A mis amigos y maestros de colegio.

AGRADECIMIENTOS

“Sin ti nada somos en el mundo, sin ti nada podemos hacer”, gracias Dios por darme vida, salud y oportunidades para construir poco a poco mis sueños.

A mis padres, Walter y Fely mis primeros maestros, por enseñarme a luchar, amar al prójimo, por sus palabras de aliento en momentos difíciles, por la confianza que depositan en mí y por el esfuerzo que realizaron para mantenerme en este lugar.

A mis hermanitos, Nadir, Alison, Lucero, Samuel y Dorcas por su amor, alegría y por ser parte indispensable en mi vida.

A la Dra. Mily Cortez por su paciencia y guía en la realización del presente trabajo.
Al Ing. Carlos Quiroz, por su apoyo en la logística de este proyecto y por sus consejos oportunos.

A los profesores Raúl Botero y Victor Quiroga por mostrarme lo valioso que es amar el trabajo y dedicar todo el esfuerzo en cada labor que realicemos.

A Alfredo Ch., por los consejos-regaños, por la amistad sincera a pesar del tiempo y la distancia.

A Lourdes A., por el apoyo y amistad durante todo este tiempo en el Valle.

A mis queridos amigos zamoranos, Miriam O., Alejandra, Cindy, Naja, Paola, Andrea, Gaby Q., Fransen, Byron, Danilo L. por brindarme su apoyo y amistad incomparable, les deseo mucho éxito en los futuros caminos que debemos recorrer.

A mis maestros y amigos de colegio, Patricio Sosa, Uberlinda Paco, María Jesús Martínez, Edwin Merlo, Jesús Valdivia, Mario Balderrama, por haberme inculcado fundamentales valores y brindarme las herramientas necesarias para poder desempeñarme de manera óptima durante estos cuatro años.

...A todos les agradezco de corazón por ser entes claves en mi desempeño, gracias a su apoyo he llegado hasta acá, prometo no defraudarlos ni ahora ni en los próximos caminos que debo recorrer.

AGRADECIMIENTOS A PATROCINADORES

De todo corazón un eterno gracias a la Fundación Kellogg y al Fondo Dotal Suizo, por financiar mi carrera durante estos cuatro años de estudio.

A la Carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente por haber apoyado este proyecto y cubierto los gastos que se incurrieron en el mismo.

RESUMEN

Aliaga, Lizeth. 2006. Evaluación de la producción de biogás a partir de desechos porcícolas de Zamorano. Proyecto de Graduación del Programa de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente. Zamorano, Honduras. 64 p.

La dependencia por los combustibles fósiles y leña se hace cada vez más evidente, nos encontramos atravesando la denominada crisis energética, por ello la utilización de energía limpia proveniente de la biomasa se hace necesaria. Las actividades agrícolas e industriales son grandes fuentes de contaminación y emisores de residuos orgánicos, estos residuos pueden ser ingresados en mecanismos denominados biodigestores y producir el llamado gas milagroso o biogás. El biogás se obtiene gracias a la descomposición de la materia orgánica por bacterias anaeróbicas que comienzan un proceso bioquímico y producen un gas compuesto, según los resultados del presente experimento, de 63 % de CH₄ el cual puede ser usado bajo ciertas medidas como combustible. Así gracias a la utilización de biodigestores se obtiene energía limpia que potencialmente disminuiría la demanda de leña y por lo tanto la tala indiscriminada, se evitaría la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera (CH₄ y otros), se reduce el riesgo de transmisión de enfermedades (cuando utilizamos excretas para producción de biogás) y es un sistema de depuración de aguas evitando contaminación de ríos y otros receptores. Evaluar el potencial de producción de biogás generado a partir de desechos emitidos por la Unidad de Cerdos de Zamorano, fue clave para entender la aplicabilidad, ventajas y desventajas de implementar un biodigestor. En este caso se instalaron dos biodigestores, uno llamado Taiwán y otro modelo propuesto por la FAO en 1986. El modelo Taiwán sirvió para aproximar la composición del biogás, y su tamaño (8.41m³) tiene potencial para que una familia de 6 a 8 miembros pueda cocinar 2 ó 3 comidas o hacer funcionar un refrigerador todo el día o alimentar un motor generador de 3 Kw. durante una hora. El uso de un biodigestor de este tamaño significa la obtención de 5518.8 Kwh./año lo cual equivale a \$ 584.31. El modelo FAO, requiere de más días de retención de efluentes para la producción de energía y produce cantidades muy poco adecuadas para uso dentro de un hogar rural. Se pudo apreciar el potencial de producción a pesar de que los desechos de la Unidad de Cerdos se encuentran altamente diluidos, se tienen 6.5 litros de agua por cada Kg. de excretas, cuando lo ideal de esta relación (para el buen funcionamiento del biodigestor) es de 4:1. Por esto, el presente trabajo sugiere investigaciones y acciones que profundicen los conocimientos que se obtuvieron y detalla los cuidados y precauciones que se debe tener para la utilización de esta tecnología. De cualquier modo ésta prueba ser una alternativa capaz de generar ahorros de más de \$ 14,000 para unidades del tamaño de la granja porcina del Zamorano.

Palabras claves: Biodigestor, biomasa, depuración de aguas residuales, energía limpia, gases de efecto invernadero.

ÍNDICE

Portada.....	i
Portadilla.....	ii
Autoría.....	iii
Página de firmas.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimientos.....	vi
Agradecimientos a patrocinadores.....	vii
Resumen.....	viii
Índice.....	ix
Índice de cuadros.....	xii
Índice de figuras.....	xiii
Índice de anexos.....	xiv
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES.....	2
1.2 JUSTIFICACIÓN Y LIMITANTES DEL ESTUDIO.....	3
1.3 OBJETIVOS.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA ENERGÉTICO HONDUREÑO.....	5
2.2 DEFICIENCIA DE SALUD E HIGIENE EN HOGARES RURALES.....	5
2.3 ¿QUÉ ES LA BIOMASA?.....	5
2.4 CONVERSIÓN BIOQUÍMICA.....	6
2.5 IMPORTANCIA DE LOS BIODIGESTORES.....	7
2.6 PARÁMETROS AMBIENTALES Y OPERACIONALES DE LA BIODIGESTIÓN.....	8
2.6.1 Valores de pH.....	8

2.6.2	Relación de C:N.....	8
2.6.3	Rangos de temperatura.....	9
2.6.4	Inhibidores	9
2.6.5	Proporción entre excretas y agua.....	9
2.6.6	Tiempo de retención	9
2.7	VENTAJAS DE LOS BIODIGESTORES	10
2.8	DESVENTAJAS DE LOS BIODIGESTORES	10
2.9	BIODIGESTOR MODELO TIPO TAIWÁN.....	11
2.10	BIODIGESTOR ARTESANAL PROPUESTO POR LA FAO	12
2.11	ANÁLISIS QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES	13
2.11.1	DBO	13
2.11.2	Coliformes fecales	14
2.12	EXPERIENCIAS EN CENTRO AMÉRICA	14
3	MATERIALES Y METODOLOGÍA	15
3.1	MATERIALES PARA CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR TAIWÁN.....	15
3.2	CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR TIPO TAIWAN.....	16
3.2.1	Preparación de la bolsa para el biodigestor.....	17
3.2.2	Colocación de la válvula de salida del gas.....	17
3.2.3	Transporte de la bolsa y amarre a las tuberías de concreto.....	18
3.2.4	Colocación de la válvula de seguridad.....	19
3.2.5	Introducción de aire en la bolsa	20
3.2.6	Introducción de agua en la bolsa.....	20
3.2.7	Alimentación del biodigestor.....	20
3.2.8	Mantenimiento del biodigestor	21
3.3	MATERIALES PARA LA INSTALACIÓN DEL BIODIGESTOR ARTESANAL, MODELO PROPUESTO POR LA FAO	21
3.4	CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR ARTESANAL PROPUESTO POR LA FAO.....	21
3.4.1	Preparación del barril.....	22
3.4.2	Colocación de válvula de salida.....	22
3.4.3	Preparación del neumático.....	22
3.5	TOMA DE DATOS	23
3.5.1	Monitoreo de gases y Estimación del potencial de producción de biogás.....	23

3.5.2	pH.....	23
3.5.3	Temperatura	23
3.5.4	Horarios.....	24
3.5.5	Métodos de laboratorio	24
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1	GENERACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS PORCÍCOLAS DE LA UNIDAD DE CERDOS DE ZAMORANO.....	25
4.2	RESULTADOS ESPERADOS.....	26
4.2.1	Biodigestor Tipo Taiwán	26
4.2.2	Biodigestor FAO 1986.....	27
4.2.3	Producción potencial de energía en la unidad de cerdos	27
4.3	RESULTADOS OBTENIDOS	28
4.3.1	Biodigestor Tipo Taiwán	28
4.3.2	Biodigestor FAO 1986.....	29
4.3.3	Eficiencia del biodigestor	31
5	CONCLUSIONES	32
6	RECOMENDACIONES	34
7	BIBLIOGRAFÍA	36
8	ANEXOS	40

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro

1.	Composición del biogás.....	6
2.	Beneficios económicos que se obtienen de un biodigestor de 8.3 m ³	26
3.	Beneficios económicos potenciales que podrían generar los desechos de la Unidad de Cerdos.....	27
4.	Depuración de aguas, en el biodigestor modelo Taiwán	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura

1.	Fases de fermentación anaerobia (Flotats, X., Campos, E., Bonmatí, A, <i>s.f.</i>).....	7
2.	Partes de un biodigestor tipo Taiwán (Polietileno de baja densidad)	12
3.	Partes de un biodigestor artesanal (Modelo FAO 1987).....	13
4.	Fosa destinada a alojamiento del biodigestor tipo Taiwán	16
5.	Preparación del tubular de polietileno de baja densidad.....	17
6.	Válvula de salida.....	18
7.	Tuberías de concreto	18
8.	Válvula de seguridad	19
9.	Llenado de aire al tubular de polietileno de baja densidad.....	20
10.	Válvula de salida (Biodigestor artesanal modelo FAO 1987)	22
11.	Composición del biogás obtenido de la Unidad de cerdos de Zamorano.	29
12.	Temperatura ambiente Vs temperatura dentro del biodigestor.....	30

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo

1.	Datos de la tecnología del biogás.....	40
2.	Cálculo de la dimensión del biodigestor tipo Taiwán.....	40
3.	Cálculo de la Dimensión de la fosa de alojamiento del biodigestor	41
4.	Costos de materials para construcción del biodigestor Tipo Taiwan	42
5.	Costos de materiales para construcción del biodigestor modelo FAO 1986	43
6.	Inventario de animales de la unidad de cerdos de Zamorano	43
7.	Porcentaje de humedad de las excretas de la Unidad Porcícola de Zamorano ..	44
8.	Cantidad de excretas (heces más orina) producidas diariamente por la unidad de cerdos	44
9.	Cálculo del consumo diario de agua en la Unidad de Cerdos de Zamorano	45
10.	Desechos (parte de excretas y parte de orina) recolectados para compostaje en la Unidad de Cerdos de Zamorano.....	45
11.	Composición de biogás producido por desechos porcícolas de Zamorano, según días de retención en el biodigestor y temperatura ambiente.....	45
12.	Producción, composición y temperatura del biodigestor propuesto en 1986 la FAO.....	47
13.	Análisis de Aguas (Afluente del Biodigestor tipo Taiwán).....	49
14.	Análisis de Aguas (Efluente del Biodigestor tipo Taiwán)	50

1 INTRODUCCIÓN

La dependencia por los combustibles fósiles y leña para producción de energía se hace cada vez más evidente. Muchas personas han aportado al mundo con ideas para combatir el problema por energía, una de las soluciones planteadas es la búsqueda de fuentes de energía diferentes a los combustibles fósiles, por ejemplo el biogás. Esto puede reducir la demanda de productos petrolíferos y además proporcionar una alternativa para el tratamiento de residuos. (Ramírez, L. 2004).

Según Mejía *et al.* 2002, las actividades agropecuarias y agroindustriales son una importante fuente de contaminación orgánica, este contaminante se debe eliminar en las mejores condiciones para proteger el medio ambiente. Una solución es la producción de biogás, este es un combustible resultante de la fermentación anaeróbica de residuos o remanentes orgánicos (Excremento de animales, residuos de vegetales, comida, etc.). El gas obtenido y canalizado con ayuda de mecanismos de los cuales son componentes principales los biodigestores, puede ser utilizado para cocinar, proporcionar alumbrado, mover motores estacionarios, etc. De la fermentación de la materia orgánica por bacterias metanogénicas en condiciones anaeróbicas no sólo se obtiene biogás sino también residuo sólido. Este último es un excelente fertilizante.

Según Botero y Aguilar (s.f), la digestión anaeróbica o biodigestión es considerada como una herramienta efectiva en el manejo de desechos orgánicos y la producción de metano como fuente de energía renovable. Sin embargo, su diseminación ha sido limitada por los altos costos de instalación de plantas de biogás convencionales. Una planta de biogás o biodigestor artesanal es una alternativa para la producción de biogás a bajo costo.

La aplicación de biodigestores a gran escala se ha visto limitada en parte por razones culturales y económicas. Desde el punto de vista cultural muchos desaprueban el uso de excrementos humanos en la producción de biogás. En la parte económica se apunta a los altos costos de instalación de un biodigestor convencional. (Fulford, 1998, citado por Aguilar y Botero, s.f.).

El presente trabajo pretende investigar la aplicabilidad de un biodigestor de tipo artesanal en la zona, demostrar sus beneficios económicos y ambientales, generar datos de esta tecnología y compararlos con datos ya establecidos en literatura. Para este fin se tomó como área de trabajo la Unidad de Cerdos de Zamorano, construyendo dentro de sus instalaciones dos biodigestores experimentales. Uno de los biodigestores instalados fue de polietileno de baja densidad de 8.4 m³ de capacidad llamado tipo Taiwán, utilizando para su construcción materiales disponibles en la zona. El otro biodigestor es un modelo en miniatura de 35 galones de capacidad según el diseño para zonas rurales propuesto por la FAO en 1986.

1.1 ANTECEDENTES

En América Latina se hacen esfuerzos aislados en distintos países, con el propósito de extender la tecnología del biogás a las condiciones de vida de nuestros pueblos. En la actualidad, Honduras aunque en baja escala, es un país que entra a la tendencia y búsqueda de energía alternativa, por ejemplo en Peñas Blanca-Cortés la granja avícola ANYOSA realizó en el 2003-2004 un proyecto de recuperación de metano a partir de la digestión de gallinaza con el objetivo de generar energía eléctrica para autoconsumo. Se desconoce el estado actual del proyecto (Cruz, A. 2006). En agosto del presente año la empresa Palmas de Centro América S.A. (Ubicada en el Progreso) logró construir dos plantas eléctricas generando 1.2 megavatios, además han negociado bonos de carbono por las emisiones evitadas al canalizar el metano de sus lagunas de oxidación. (Castillo, J. 2006).

Según Cruz, A. 2006, en Honduras esta tecnología no fue muy diseminada, aun cuando el Programa de Tecnologías Rurales (PTR) hizo algunos esfuerzos en los setentas y principios de los ochentas. La producción de biogás no tuvo la aceptación esperada debido a aspectos culturales y los altos costos que implica la construcción de biodigestores. Según Zepedo R. 2006, en Honduras se han hecho muchos intentos por desarrollar biodigestores pero hasta el momento no han sido sostenibles. El biodigestor que más tiempo funcionó fue uno artesanal construido en el municipio de Minas de Oro de Comayagua, actualmente esta instalación no se encuentra funcionando.

La Escuela Agrícola Zamorano, específicamente la antigua unidad de cerdos, dispone de una instalación de biogás que fue construida hace más de 10 años por una institución de desarrollo alemana. En la actualidad, estas instalaciones se encuentran obsoletas, deterioradas, no tienen ningún uso y no se tienen datos de las mismas. En vista de la mala experiencia que se tuvo con esta instalación, se descartó el aprovechamiento del biogás que se puede producir a partir de la gran cantidad de desechos orgánicos provenientes de la actividad agropecuaria en la escuela.

El Dipl. Ing. Gabriel Moncayo – Ing. Mario Rivera Torres, en el año 2003 realizaron una consultoría para la Escuela Agrícola Panamericana en la cuál recomendaron una Planta compacta UASB (Son sistemas de tratamiento anaerobio, que reemplazan a los sedimentadores primarios, sedimentadores secundarios, biodigestores para tratamiento de los lodos, teóricamente pueden alcanzar eficiencia de remoción de 60 a 80 % de DQO y DBO.). para ser usada en la unidad de cerdos. A pesar de varias consultorías que se realizaron en la EAP por personas ajenas a la institución, Zamorano no tomó en cuenta del todo las recomendaciones de los expertos por falta de presupuesto. Por ello es necesario realizar una investigación que, no sólo demuestre en teoría las ventajas de implementar fuentes de energía alternativa, sino también reflejen económicamente el significado de tomar esta medida. Para lograr esto se debe aproximar a lo real el potencial de producción de biogás.

1.2 JUSTIFICACIÓN Y LIMITANTES DEL ESTUDIO

Los cientos de proyectos realizados en el mundo que abarcan desde simples granjas lecheras hasta plantas de tratamiento de aguas servidas de las grandes ciudades, demuestran que la recolección de biogás con fines energéticos es económicamente sostenible y tiene al mismo tiempo un impacto favorable sobre el medio ambiente (Electrigaz, 2006). A diferencia de lo que ocurre con la combustión de productos a base de petróleo, el biogás es recuperado de la digestión orgánica, por lo que no contribuye al aumento de gases de efecto invernadero ya que se trata de metano que se quema. Por otro lado si se produce biogás y se escapa sin ser usado o quemado, contribuye 22 veces más al efecto invernadero que el CO₂. Entonces recuperarlo y transformarlo en calor o electricidad es una necesidad económica y ambiental.

Limites de la investigación:

- Los materiales utilizados para la generación de biogás fueron exclusivamente de tipo orgánico (excretas de cerdos).
- El tamaño de los biodigestores se adaptó a la disponibilidad de espacio de la Unidad de cerdos y al tipo de estudio que se realizó (experiencia piloto).

Las principales limitantes del estudio fueron:

- Los materiales necesarios para la construcción del biodigestor tipo Taiwán se encontraban disponibles sólo para consumos industriales. Esto fue un impedimento para su adquisición pues sólo se requería de pequeñas cantidades. Por esto el plástico adecuado (con protección UV) no pudo ser adquirido y se usó plástico corriente disponible (menos de 500 yardas).
- El biodigestor tuvo que alimentarse de manera manual, pues la disponibilidad de espacio y conexión a la tubería de efluentes no fue posible.
- Tomó cinco días regular el gasómetro con los biodigestores para asegurar mediciones correctas, por lo que los datos de dichos días no son admisibles.
- El H₂S y CO no se tomaron por falta de equipo necesario para la calibración del gasómetro.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Determinar las ventajas y desventajas de usar un biodigestor como fuente de energía alterna.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Implementar un biodigestor experimental de polietileno de baja densidad (tipo Taiwán).
- Implementar un biodigestor tipo artesanal de polietileno de alta densidad (Modelo propuesto por la FAO 1986).
- Determinar la capacidad de generación de biogás usando excretas porcinas mediante la evaluación de la producción de metano.
- Identificar el periodo desde el cual la producción de gas metano se hace estable.
- Determinar la capacidad de reducir la carga contaminante de los efluentes de la granja porcina usando un biodigestor, evaluando DBO y coliformes fecales como indicadores de depuración de aguas.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA ENERGÉTICO HONDUREÑO

Según la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente. 2005, en el Plan de Acción para la Implementación de una Política Energética Nacional Sostenible, el sistema energético hondureño muestra una muy alta dependencia de la leña. La utilización de leña para la generación de energía afecta la calidad de vida de la población y compromete el recurso forestal. El uso de leña es especialmente importante en las zonas rurales. Para las zonas que gozan de energía eléctrica este diagnóstico también menciona que alrededor del 43 % de la misma es generada por combustible fósil importado.

De este modo se deja ver que en Honduras, como en muchos países, las fuentes de energía no sólo son fuentes de contaminación y causantes de deforestación, sino también altos consumidores de divisas. Ante la situación económica y ambiental del país, en este Plan de Acción se menciona en el Objetivo 2 que se promoverá la utilización de los recursos energéticos nacionales, incrementando la participación de generación de electricidad a partir de fuentes renovables.

2.2 DEFICIENCIA DE SALUD E HIGIENE EN HOGARES RURALES

Según informes brindados en 1999 por UNICEF, más del 50% de muertes y enfermedades que se dan en la primera infancia se deben a los gérmenes que se transmiten vía bucal por malos hábitos de higiene. Muchos de estos gérmenes provienen de materia fecal de animales y de seres humanos. Para contrarrestar esto, UNICEF recomienda mantener el hogar y zonas aledañas limpias y libres de heces, residuos domésticos o aguas residuales. Esto no se cumple cuando los animales no se encuentran en confinamiento, factor que es clave en la producción de biogás.

2.3 ¿QUÉ ES LA BIOMASA?

Según Ramírez, 2004, la biomasa es toda materia o sustancia orgánica renovable de origen vegetal o animal. Esta fuente de energía se ha utilizado desde nuestros ancestros, con el descubrimiento del fuego, cuando se utilizó la leña en hogueras para la cocción de alimentos. Esta práctica sigue siendo válida en muchos hogares, sobre todo de la zona rural, hasta el día de hoy.

En muchas ocasiones se considera que la biomasa entorpece las labores agrarias o ganaderas que la generan. Esto se traduce en empresas incurriendo en gastos para la destrucción de la misma. Cuando esto ocurre se desperdicia una fuente de energía importante. Se considera que un kilogramo de biomasa produce aproximadamente 3500 Kcal. de energía y que un litro de gasolina tiene aproximadamente 10000 Kcal., por tanto por cada tres kilogramos que desperdiciamos de biomasa, se desaprovecha el equivalente a un litro de gasolina (Ramírez, 2004).

2.4 CONVERSIÓN BIOQUÍMICA

La digestión anaeróbica es la forma en la que ciertos microorganismos, en una atmósfera deficiente de oxígeno, descomponen la biomasa y la transforman en biogás. Para que esta transformación pueda llevarse a cabo es necesario el uso de mecanismos adecuados, estos son llamados biodigestores o plantas de biogás.

Dependiendo de la materia prima y la calidad del proceso, la composición del biogás es:

Cuadro 1. Composición del biogás

Componente	Fórmula química	Porcentaje
Metano	CH ₄	60 – 70
Dióxido de carbono	CO ₂	30 – 40
Hidrógeno	H ₂	1
Nitrógeno	N ₂	0,5
Monóxido de carbono	CO	0,1
Oxígeno	O ₂	0,1
Ácido sulfhídrico	H ₂ S	0,1

FUENTE: Adopción de R. Botero y T. Preston, 1987, fuente original Instituto de Investigaciones Eléctricas, México (1980)

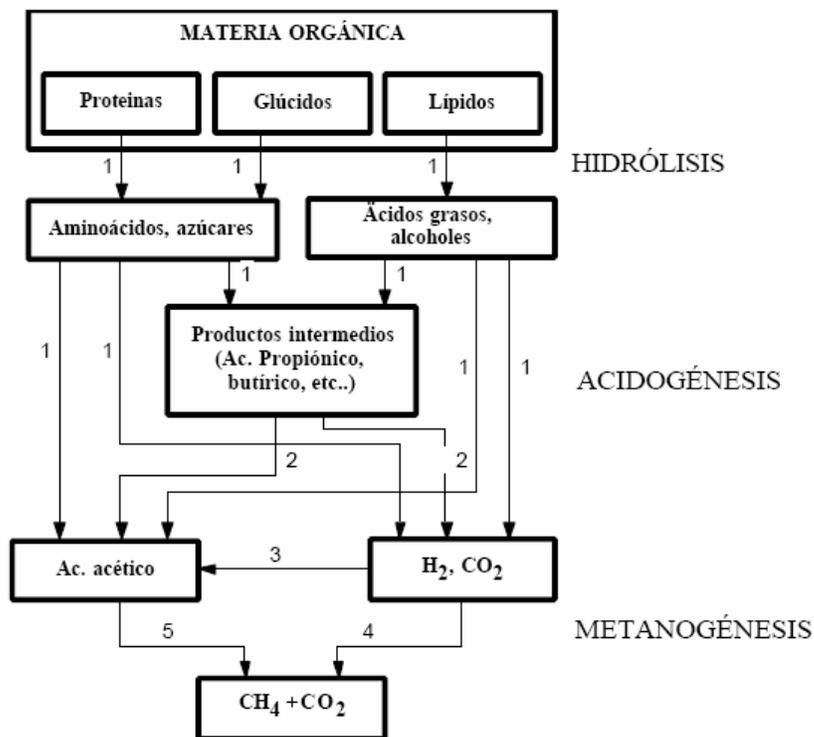
Según Werner y Stöhr, 1989, un biodigestor de tamaño familiar, de 8 a 10 m³ produce entre 1,5 y 3 m³ de biogás a partir del excremento de 8 a 12 cerdos o de 3 a 5 cabezas de ganado vacuno. El biogás obtenido de esta pequeña planta sirve para que una familia de 6 a 8 miembros pueda cocinar 2 a 3 comidas, hacer funcionar un refrigerador todo el día o alimentar un motor generador de 3 Kw. durante una hora. Otros datos sobre la generación de biogás se presentan en el anexo 1.

Según Kossmann, W y Pönitz, U, 1989, el proceso de generación de metano cuenta con 3 partes las cuales se presentan en la figura 1.

- **Hidrólisis**, en esta fase las enzimas de los microorganismos actúan sobre la materia orgánica, la bacteria descompone las largas y complejas cadenas de carbohidratos, proteínas y lípidos.

En esta etapa se obtienen tres sustratos orgánicos complejos: Ácido butírico, ácido propiónico y ácido láctico.

- **Acidificación**, durante esta etapa las bacterias convierten los sustratos orgánicos productos de la hidrólisis y los transforman en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono. Estas bacterias no son totalmente anaeróbicas y producen reacciones endotérmicas.
- **Formación de metano**, durante este tercer paso, las bacterias trabajan en condiciones anaeróbicas y utilizan parte del hidrógeno, dióxido de carbono y ácido acético para la formación de metano. Las bacterias metanogénicas son muy sensibles a cambios ambientales, contrarias a las bacterias acidogénicas y acetogénicas.



Fases de fermentación anaerobia y poblaciones bacterianas: 1) Bacterias hidrolíticas – acidogénicas; 2) Bacterias acetogénicas; 3) Bacteria homoacetogénicas; 4) Bacterias metanogénicas hidrogenófilas; 5) Bacterias metanogénicas acetoglásticas.

Figura 1. Fases de fermentación anaerobia (Flotats, X., Campos, E., Bonmatí, A, s.f.)

2.5 IMPORTANCIA DE LOS BIODIGESTORES

Son componentes claves para la conversión de materia orgánica en energía y se incluyen en sistemas de depuración de aguas residuales. Existen distintos tipos y modelos de

biodigestores, estos se adecuan al tipo de uso, espacio y financiamiento del que se dispone. El biodigestor de polietileno de baja densidad tiene como principales ventajas su bajo costo, fácil implementación, sencillo manejo y mantenimiento. Además, los materiales necesarios para su construcción, están disponibles en zonas rurales. Adicionalmente, según datos de CIPAV de Colombia, el efluente a través de los biodigestores reduce su contaminación hasta en un 80 % (Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria, 1998).

2.6 PARÁMETROS AMBIENTALES Y OPERACIONALES DE LA BIODIGESTIÓN

Para que la biodigestión suceda de la mejor manera es deseable que los siguientes parámetros se cumplan:

2.6.1 Valores de pH

Los microorganismos encargados de la biodigestión presentan máxima actividad en diferentes rangos de pH, por ejemplo las bacterias hidrolíticas trabajan mejor entre 7.2 y 7.4; acetogénicos entre 7 y 7.2 y metanogénicos entre 6.5 y 7.5. Por ello es deseable un pH de 6.5 a 7.5. Si el pH se torna muy ácido, la acción de las bacterias metanogénicas se inhibe, aumentando la proporción de gas carbónico en el biogás (Taiganides et al., 1963, citado por Botero, R. y Preston, T. 1987).

Según Botero R. y Preston, T. 1987. Los factores que pueden acidificar la fase líquida que se encuentra en el biodigestor son:

- Permanecer mucho tiempo dentro de la bolsa sin recibir carga (en el caso del biodigestor de polietileno de baja densidad).
- Productos tóxicos (medicamentos, químicos y otros) presentes en la carga.
- Cambios de temperatura repentinos y amplios.

Afirman que el pH de la carga puede autorregularse con la adición de entre 2 y 3 g de Carbonato de calcio - CaCO_3 /Litro de fase líquida.

2.6.2 Relación de C:N

La flora bacteriana necesita para su crecimiento fuentes de carbono y nitrógeno. Debe existir una relación adecuada entre nutrientes, es decir, entre carbohidratos y proteína. Botero, R. y Preston T (1987) afirman que el carbono contenido en el estiércol es el elemento que las bacterias convierten en metano (CH_4). El Nitrógeno es utilizado para la multiplicación bacteriana y como catalizador en la producción de biogás.

Según Flotats, X.; Campos, E.; Bonmatí, (s.f), la relación C:N debe estar comprendida entre 15:1 y 45:1, con un valor recomendable de 30:1. Valores mayores a este pueden crear problemas de inhibición y valores menores disminuyen la velocidad de reacción.

2.6.3 Rangos de temperatura

Según Werner, U.; Stöhr, U.; Hees, N (s.f.), la fermentación anaeróbica puede darse en un rango amplio de 3°C y 70°C.

Se diferencian tres rangos de temperatura:

- Psicrófilo: Menor a 20°C.
- Mesófilo: 30°C y 40°C.
- Termófilo: Entre 50°C y 70°C.

La producción de biogás incrementa con la temperatura, pero también la producción de amonio aumenta, lo que provoca una posible inhibición de la producción de gas. En general las plantas de biogás trabajan adecuadamente en el rango mesofílico.

2.6.4 Inhibidores

Para residuos ganaderos en general, los compuestos críticos son el nitrógeno amoniacal, los antibióticos y los desinfectantes, así como el Cu y el Zn para residuos porcinos. Se ha comprobado que concentraciones de Spyramicina de 50 mg/L en los residuos puede provocar una disminución del 56% en la producción de gas. Otros antibióticos se han mostrado inactivos. Los desinfectantes son mucho más activos, llegando a provocar disminuciones en la producción hasta del 90% a bajas concentraciones (Hilper et al, 1982 citado por Flotats, X.; Campos, E.; Bonmatí, s.f.)

2.6.5 Proporción entre excretas y agua

El estiércol contiene en promedio 15 % de materia seca y es necesario que al biodigestor ingresen en una proporción de 3 % como una suspensión en agua. Esto indica que por cada parte de estiércol fresco deben existir cuatro partes de agua de lavado para alimentar el biodigestor. (Botero, R. y Preston T, 1987).

2.6.6 Tiempo de retención

Se refiere al tiempo adecuado para la digestión más eficiente de la materia orgánica, distintos autores coinciden en afirmar que este tiempo óptimo es de 50 días pero esto puede variar por diferentes factores como la temperatura, tipo de sustrato que se use, presencia de sustancias inhibitoras de producción, etc. El tiempo de retención para sistemas de producción continua se calcula dividiendo el volumen del biodigestor entre la cantidad diaria de afluente que ingresará al biodigestor. (Botero, R; Preston, T, 1987)

Según Werner, U.; Stöhr, U.; Hees, N (s.f.), en el rango mesofílico el tiempo de retención para diferentes sustratos son:

- Excretas de ganado vacuno: 20 a 30 días.

- Excretas de cerdos: 15 a 25 días.
- Excretas de aves: 20 a 40 días.
- La mezcla de excretas y material vegetativo: 50 a 80 días.

Debe tomarse en cuenta que si el tiempo de retención es muy corto se estarían eliminando las bacterias productoras de metano sin darles tiempo para su reproducción.

2.7 VENTAJAS DE LOS BIODIGESTORES

Los biodigestores son excelentes mecanismos para la producción de biogás, los beneficios que se obtienen son los siguientes:

- Reducción de la tala indiscriminada de árboles para suplir necesidades energéticas rurales.
- Ahorro de tiempo por acarreo y corte de leña.
- Reducción de trabajo para la mujer por la eliminación del lavado de ollas tiznadas.
- Reducción del riesgo en la transmisión de enfermedades (Mc Garry y Stainforth, 1978). Al reciclar en conjunto las excretas animales y humanas en biodigestores que operen en rangos de temperatura interna entre 30 y 35 °C, es posible destruir hasta el 95% de los huevos de parásitos y casi todas las bacterias y protozoarios causantes de enfermedades gastrointestinales (R. Espinel y L. Solarte, 1995).
- Reducción de emisión de gases contaminantes al ambiente, principalmente metano.
- Ahorro parcial de la compra de fertilizantes químicos, ya que el efluente es un excelente bioabono.
- Depuración de aguas servidas, evitando contaminación de los ríos y fuentes de agua.
- Producción de energía limpia, evitando costos por adquisición de combustibles fósiles o leña.

2.8 DESVENTAJAS DE LOS BIODIGESTORES

La principal desventaja de la implementación de biodigestores, independientemente del material y modelo que se utilice para esta tecnología, según Zepeda, R. (2006), es el inadecuado seguimiento que se les da a los proyectos de este tipo, y la poca receptividad y aceptación de energía generada por excretas. Por tanto, si se planea la extensión de un programa para diseminar el uso de biodigestores, debe realizarse también un estudio socio-cultural antes de iniciar cualquier programa. Esto puede convertirse en el principal obstáculo en la diseminación de esta tecnología en Honduras. De cualquier modo es importante tener en cuenta lo que Aguilar y Botero, (2002) afirman sobre los beneficios económicos totales de los biodigestores, incluyendo los modelos domésticos. Ellos mencionan que la suma de beneficios directos y valores funcionales demuestran las ventajas de la tecnología de producción de biogás a bajo costo.

2.9 BIODIGESTOR MODELO TIPO TAIWÁN

Este tipo de biodigestor, llamado así por haber sido desarrollado en el mencionado país, es de flujo continuo y se caracteriza por ser de bajo costo y estar constituido por materiales disponibles en distintas zonas (Botero, R; Preston, T, 1987). Uno de los problemas de la transferencia de tecnología del biogás son los altos costos para la construcción de instalaciones, este modelo de biodigestor es accesible para zonas que de otra manera no podrían adoptar este tipo de energía alternativa.

Este modelo consiste en una bolsa en forma tubular albergado en una fosa previamente cavada. En los extremos de la fosa se encuentran tubos de concreto (uno al final y otro al inicio). Estos tubos tienen como función sujetar la bolsa y ser los mecanismos por donde ingresará y saldrá el líquido (aguas residuales) con el que se alimentará el biodigestor.

El biodigestor debe ser abastecido de líquido sólo a 75% de su capacidad total ya que el restante de espacio será destinado a funcionar como la cámara donde se albergará el gas que el mismo sustrato despedirá. Para la salida del biogás dispone de una “válvula de salida” compuesta por arandelas plásticas y tubos que están conectados directamente con la cámara de gas. Se podría llevar la tubería directamente hasta el lugar donde el gas se quemará sin ningún accesorio adicional, pero esto no es recomendable ya que una excesiva producción de biogás o una eventual disminución en el uso del gas causarían la ruptura de la bolsa. Para evitar esto se debe colocar en la manguera que transporta el gas una “válvula de seguridad”.

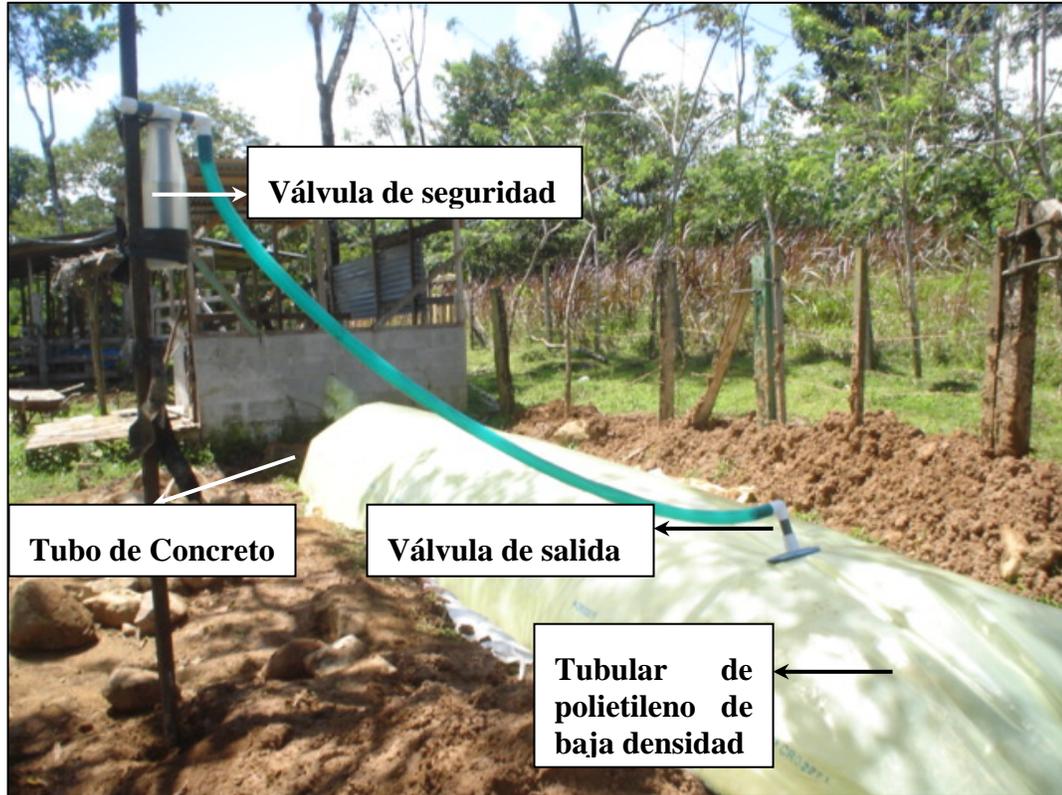


Figura 2. Partes de un biodigestor tipo Taiwán (Polietileno de baja densidad)

Este modelo tiene como principal desventaja el excesivo mantenimiento y cuidado que debe tenerse por el tipo de material con el que está compuesto. A pesar de esto, fue adoptado por la FAO en 1995.

2.10 BIODIGESTOR ARTESANAL PROPUESTO POR LA FAO

A lo largo de los años la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación ha estado perfeccionando unidades de producción de biogás enfocándose sobre todo en mecanismos fácilmente adoptables por familias pobres de zonas rurales. En 1986 la FAO propuso una unidad perfeccionada de un modelo originalmente diseñado en 1983. El nuevo modelo mostraba mejores adaptaciones para almacenar el biogás.

Éste modelo se encuentra compuesto por un barril. La tapadera del mismo está conectada a un niple que será por donde saldrá el biogás. Al niple se encuentra unida una “T” de hg que a su vez se conecta a una válvula y a una manguera cuya función es conducir el biogás hasta una cámara. Esta cámara es un neumático totalmente sellado. La facilidad para su construcción y su bajo costo es una de sus principales ventajas. La desventaja de este tipo de biodigestor es su baja capacidad de almacenamiento de sustrato.



Figura 3. Partes de un biodigestor artesanal (Modelo FAO 1987)

2.11 ANÁLISIS QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES

El análisis químico y microbiológico de las aguas residuales es una herramienta clave para apreciar el estado, las posibles causas y acciones a tomar para su tratamiento (Dirección General de Estadística e Información Ambiental de México, 2006). También estos datos servirán para evaluar la eficiencia del biodigestor de alta densidad para la depuración de aguas residuales, ya que se realizará una comparación entre el efluente antes y después de ingresar al biodigestor.

Algunos parámetros químicos y bacteriológicos para determinar el estado de aguas residuales son:

2.11.1 DBO

Se define DBO a la cantidad de oxígeno que microorganismos (principalmente bacterias) toman del agua cuando realizan procesos de oxidación de la materia orgánica. Esta variable es medida por la cantidad de oxígeno consumido en cinco días y por la descomposición de los componentes orgánicos en las aguas residuales a una temperatura de 20° C (Bylund, 1996 citado por Paz, L; Arboleda, M; 1999).

Este parámetro se utiliza para medir el grado de contaminación de aguas ya que a mayor cantidad de materia orgánica mayor será la cantidad de oxígeno que las bacterias demandarán para descomponerla. Sus unidades son ppm o mg/L es decir miligramos de oxígeno que se utilizarían para descomponer un litro de líquido.

2.11.2 Coliformes fecales

Según la Dirección General de Estadística e Información Ambiental de México, 2006, los coliformes fecales son microorganismos con una estructura parecida a la de una bacteria común llamada *Escherichia coli* transmitidas por medio de los excrementos, se encuentra normalmente en el intestino del hombre y en el de otros animales. Hay diversos tipos de *Escherichia coli*; algunos no causan daño en condiciones normales y otros pueden incluso ocasionar la muerte.

Tradicionalmente los coliformes son considerados como indicadores de contaminación fecal para el control de la calidad de aguas, principalmente de aguas destinadas para el consumo humano. La no presencia de coliformes en el agua indica que el agua es bacteriológicamente segura.

2.12 EXPERIENCIAS EN CENTRO AMÉRICA

Según la empresa Aqualimpia que operan en Centro América y otros países, Honduras actualmente está construyendo en la ciudad de San Pedro Sula una planta de producción de biogás. Esta cuenta con cinco biodigestores para producción de biogás y generación de energía eléctrica, calor y abono orgánico aprovechando el estiércol de cerdo. Cada biodigestor tiene capacidad para almacenar el estiércol de 2000 animales según estudios esta planta tiene potencial para producir 300 Kw. de energía eléctrica.

En Guatemala esta misma empresa (Aqualimpia) realizó una evaluación del potencial de biogás para la generación de energía a partir de desechos de naranja obtenidos de la extracción de jugos, Inprolacsa S.A.

En El Salvador, en el Cantón “Ocotillo” a 15 kilómetro de Cacaopera en la zona norte del departamento de Morazán, gracias a la asistencia del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, CENTA apoyado por la FAO, se instalaron cuatro biodigestores de polietileno. Adicionalmente, en la actualidad seis biodigestores más se encuentran en proceso de construcción. Este proyecto fue exitoso ya que las familias rurales adoptaron esta tecnología y usan el gas para cocción de alimentos, y el abono líquido y sólido para fertilización de hortalizas.

3 MATERIALES Y METODOLOGÍA

Para determinar el potencial de producción de biogás se requirió la instalación de un biodigestor “Tipo Taiwán” de polietileno de bajo costo de 8.4 m³ de capacidad y un biodigestor artesanal de 35 galones de capacidad modelo propuesto por la FAO en 1986.

3.1 MATERIALES PARA CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR TIPO TAIWÁN

El biodigestor construido es de dimensiones adecuadas para un hogar rural promedio (Aguilar, 2001) ideal para esta instalación exclusivamente de tipo experimental. (Anexo 1, explicación de las dimensiones). Los costos de esta instalación fueron de 4120 Lps. equivalentes a 218 Dólares (Tasa de cambio para 25 Septiembre de 2006 igual a 18.8953 Lempiras por 1 US dólar compra)(Detalle de materiales y costos Anexo 4).

Para la instalación del biodigestor modelo Taiwán (flujo continuo) se hizo uso de los siguientes materiales:

- Cuarenta y dos metros de Polietileno de baja densidad en forma tubular, transparente, calibre 4 (Se recomienda usar calibres mayores a este).
- Dos tubos de concreto de 12 pulgadas de diámetro por 1 metro de longitud.
- Tres metros de manguera plástica flexible de jardín en vinilo transparente de 1 ¼ pulgadas de diámetro.
- Un metro de tubería de alta presión en PVC de 1 pulgada de diámetro.
- Tubería conduit (Tubería comercial en PVC, utilizada para la conducción de redes eléctricas) de una pulgada de diámetro.
- Un Frasco pequeño de pegante para PVC.
- Un adaptador macho en PVC de 1 pulgada de diámetro.
- Un adaptador hembra en PVC de 1 pulgada de diámetro.
- Un adaptador macho en PVC de ½ pulgada de diámetro.
- Una “T” en PVC de una pulgada de diámetro.
- Dos reducciones no roscadas en PVC de una a media pulgada de diámetro.

- Tres codos de 90 grados en PVC de una pulgada de diámetro.
- Tubería galvanizada de media pulgada de diámetro (Rosado en ambos extremos), 50 cm.
- Tubería en PVC de alta presión de media pulgada de diámetro. 50 cm.
- Un codo en tubería galvanizada de media pulgada de diámetro.
- Un niple de 10 a 12 cm. en tubería galvanizada de ½ pulgada de diámetro.
- Cuatro abrazaderas metálicas de cremallera con ajuste desde 1 hasta 1 ½ pulgadas.
- Una llave de paso en bronce o de balín de ½ pulgada.
- Dos arandelas de plástico de 20 cm. de diámetro, se utilizaron tapas plásticas para su formación.
- Un recipiente de leche de 1 galón de capacidad.
- Dos empaques de neumáticos usados de 25 cm. de diámetro
- Correas de neumáticos usados.
- Ocho sacos usados.
- Una alambrina metálica de lavar ollas.

3.2 CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR TIPO TAIWAN

Se excavó una fosa de 10 metros de largo por 1 m de ancho y 0.80 m de profundidad (Cálculos detallados en el anexo 3). Esta fosa se construyó para que sirva de aislante térmico y se cuidó que no haya desniveles que ocasionen problemas con la distribución del efluente. Para que los afluentes y efluentes puedan circular sin problemas a lo largo del biodigestor, se manipuló la altura de los tubos de concreto, el tubo de concreto de entrada se ubicó a una altura mayor que el tubo de salida.



Figura 4. Fosa destinada a alojamiento del biodigestor tipo Taiwán

3.2.1 Preparación de la bolsa para el biodigestor

Se extendió el plástico, se lo dividió y cortó en tres partes iguales, cuidando de no causarle daño. Se metió cada parte dentro de la otra, llenando los tubulares temporalmente de aire con ayuda de un compresor. Una persona sin zapatos se metió dentro del tubular con la otra parte en sus manos mientras que otras personas lo sostenían para que caminara a través de él. Esta operación se realizó dos veces obteniendo así un solo tubular de tres capas, para aumentar su durabilidad.



Figura 5. Preparación del tubular de polietileno de baja densidad.

3.2.2 Colocación de la válvula de salida del gas

A cuatro metros de uno de los extremos del tubular de polietileno se apoyó una de las arandelas y se marcó el orificio central de la arandela sobre el quiebre central del plástico, posteriormente se cortó el orificio marcado capa tras capa.

Una vez perforado el plástico, se colocó tanto por dentro como por fuera del tubular los empaques de neumáticos. De igual manera se colocaron las arandelas de plástico sobre los empaques de neumático quedando la siguiente combinación: arandela de plástico – empaque de neumático – tubular de polietileno – empaque de neumático – arandela de plástico, (se utilizan los empaques de neumáticos para que las arandelas de plástico no rompan o dañen el tubular de polietileno).

Posteriormente se pasa el adaptador macho de dentro hacia fuera de la bolsa por entre el orificio formado por las arandelas, empaques y tubular y se procede a enroscar externamente el adaptador hembra de la mejor manera posible.

Con el fin de fijar un pedazo de 10 cm. de tubería de PVC sobre el acople interno del acople hembra se utilizó pegante para PVC. A este pedazo de PVC se acopló un codo y al codo otra sección de 10 cm. de tubería en PVC.

A la última sección de tubo se acopló la manguera de vinilo transparente y se lo aseguró con una abrazadera.



Figura 6. Válvula de salida

3.2.3 Transporte de la bolsa y amarre a las tuberías de concreto

Se transportó el tubular de polietileno hasta la fosa, las paredes de la fosa fueron forradas con sacos para evitar que las raíces de las plantas dañen el plástico.

Los tubos de concreto fueron forrados internamente con sacos ya que por ahí fue insertado cada extremo del tubular de polietileno.

El amarre de cada extremo del tubular fue cuidadoso, de adentro hacia fuera, cuidando que el quiebre donde se encontraba la válvula de salida quede en la parte central superior de la fosa.



Figura 7. Tuberías de concreto

3.2.4 Colocación de la válvula de seguridad

La válvula de seguridad está constituida por un frasco de 1 galón (frasco de leche o cualquier otro) que se mantiene con agua solamente hasta la mitad porque a esta altura se le hicieron pequeños orificios alineados alrededor. Dentro del frasco se encontraba una sección de 15 cm. de tubería en PVC, este tubo se acopló a una “T” en PVC, de los extremos restantes de la “T” se acoplaron tubos de PVC de 10 cm. de longitud. Tanto la sección de 15 cm. como uno de los tubos de 10 cm. se acoplaron a la “T” con pegante de PVC, una de las secciones de 10 cm. no fue acoplada con pegante para poder introducir y sacar continuamente del interior de la “T” una alambrita de hierro para lavar ollas.

Los dos extremos de la “T” que quedaron por encima de la botella, con sus respectivos acoples, fueron los tubos de ingreso y salida del biogás. Por esto una de las secciones de 10 cm. de PVC fue insertado a la manguera de vinilo transparente que a su vez se encontraba acoplada a la válvula de salida, de esta manera tanto la válvula de salida como de seguridad se conectaron por la manguera de vinilo transparente.

El biogás contiene dentro de su composición H_2S que produce irritación en ojos, nariz o garganta, también puede producir dificultades respiratorias, en cantidades mayores a 500 ppm pueden causar pérdida de conocimiento y hasta la muerte. Este gas es además corrosivo para equipos y tuberías. Se debe recalcar que el biogás contiene sólo 0.1% de H_2S . Para eliminar o estabilizar el H_2S se lo combina con Fe. Por ello es importante colocar la alambrita de hierro en medio de la “T” por donde pasa el gas, esta alambrita se cambia cada seis meses pues se satura.

Esta válvula tiene como función evitar el llenado excesivo de la bolsa con biogás, el gas excesivo al pasar por la “T” vence la tensión superficial del agua (que se encuentra dentro la botella) y se expulsa en forma de burbujas por la boca y los orificios de la botella. De esta manera se impide el rompimiento de la bolsa por excesiva producción de biogás o por un bajo consumo del mismo.



Figura 8. Válvula de seguridad

Junto a la fosa con ayuda de una estaca y correas de neumático se sujetó la botella que fue parte de la válvula de seguridad. El amarre se hizo minuciosamente ya que una mala posición de la botella podría ocasionar el mal funcionamiento de la válvula, y por ende pérdida de biogás, o de lo contrario el estallido de la bolsa en caso de que la tubería quedara excesivamente sumergida dentro de la botella. El tubo no debe quedar sumergido a más de 10 centímetros de la superficie del agua contenida dentro de la botella de la válvula.

3.2.5 Introducción de aire en la bolsa

Una vez ubicados los tubos de concreto en los extremos de la fosa sobre los huecos oblicuos que fueron excavados en la misma con el plástico totalmente extendido, se cubrió uno de los tubos con plástico y por el otro tubo de concreto se introdujo el compresor para llenar de aire la bolsa, de esa manera identificar posibles fugas y repararlas y también para darle forma al tubular de polietileno.



Figura 9. Llenado de aire al tubular de polietileno de baja densidad.

3.2.6 Introducción de agua en la bolsa

Para mantener la forma de la bolsa, una vez que el tubular se llenó de aire se insertó por uno de los tubos de concreto y por dentro de la bolsa interna, una manguera conectada a una fuente de agua, para desplazar el aire e ir reemplazándolo por agua, este agua posteriormente se mezcla con las aguas de desecho que se producen en la Unidad de Cerdos.

3.2.7 Alimentación del biodigestor

La ubicación del biodigestor no fue la deseada, ya que se encontraba lejos de la caja que contiene las aguas de desecho de la Unidad de Cerdos. En un hogar rural se debe procurar que las aguas residuales de los animales se canalicen y desemboquen directamente y por gravedad dentro de la bolsa del biodigestor.

El biodigestor experimental instalado se alimentó manualmente, transportando baldes de 5 galones de capacidad desde la caja contenedora de aguas de desechos de cerdos hasta el biodigestor que se encontraba a 200 m aproximadamente del lugar de almacenamiento temporal (caja de concreto). La cantidad de efluente que se introdujo fue de 196.27 L /día y es justificada en cálculos en el anexo 2.

3.2.8 Mantenimiento del biodigestor

Una de las desventajas del material con el que fue construido este tipo de biodigestor, es su susceptibilidad a rupturas. Para cubrir el plástico del sol, lluvia y de posibles accidentes por animales y humanos se construyó un techo a lo largo de todo el biodigestor, el techo fue construido de láminas de zinc y madera.

3.3 MATERIALES PARA LA INSTALACIÓN DEL BIODIGESTOR ARTESANAL, MODELO PROPUESTO POR LA FAO

Para construir una pequeña unidad se adquirieron los siguientes materiales:

- Un barril de polietileno de alta densidad de 35 galones de capacidad, provisto de una tapa que lo deje hermético.
- Un niple de metal de 10 cm. de largo y 2 cm. de diámetro, este tubo se fijó en la tapa del barril plástico y es el conducto de salida del gas.
- Una “T” de hg.
- Una válvula de balín.
- Una sección de 5 cm. de tubo de cobre de 1 cm. de diámetro aproximadamente.
- Dos metros de tubo de goma (de esos que se usan en las llanteras) de aproximadamente 1 cm. de diámetro.
- Un neumático mediano sin fugas.

El costo total del biodigestor fue de \$30 aproximadamente. El detalle de costos de materiales para construcción de este prototipo se encuentra en el anexo 5.

3.4 CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR ARTESANAL PROPUESTO POR LA FAO

Es importante entender que éste modelo fue uno de muchos prototipos que a lo largo de los años la FAO propone a distintas comunidades rurales. En la presente investigación se tomó la propuesta del año 1986 por su experiencia exitosa en varias zonas rurales de África, por su facilidad de acceso a compra de materiales y por la poca complejidad para su instalación.

3.4.1 Preparación del barril

Se lavó el recipiente plástico, para evitar que sustancias anteriores (medicamentos) alteren el proceso de biodigestión.

3.4.2 Colocación de válvula de salida

Se perforó un agujero del diámetro del niple metálico de 10 cm. en la tapa del barril de polietileno de alta densidad. Se fijó el niple en la parte superior del barril de polietileno. Posteriormente con ayuda de un soplete de fundición se fijo la “T” al niple metálico y a la válvula de balón, obteniendo la siguiente combinación de abajo hacia arriba: niple – “T” – válvula de balón.

En el extremo de la “T” que aun se encontraba abierto se insertó mediante fundición la sección de cobre de 5 cm. A éste pedazo de tubo de cobre se le conectó la manguera para gas de menos de un centímetro de diámetro.



Figura 10. Válvula de salida (Biodigestor artesanal modelo FAO 1987)

3.4.3 Preparación del neumático

El neumático fue llenado de aire y sumergido en agua para detectar posibles fugas, ya que este será la cámara donde se almacenará el biogás.

Antes de acoplar el tubo de entrada de aire del neumático con la manguera que está unida al biodigestor, se sacó el aire del neumático, enrollándolo a la cámara con ayuda de una estaca de madera apretando el neumático alrededor de él.

Posteriormente se procedió a unir el biodigestor y el neumático (cámara de gas) por medio de la manguera de gas (conectando el tubo de cobre de la válvula de salida del biodigestor y de la válvula de aire que tiene el neumático). Se aseguró la manguera a los tubos con pequeños pedazos de alambre de cobre.

3.5 TOMA DE DATOS

Para el cumplimiento de los objetivos, fue necesario monitorear gases y parámetros ambientales y operacionales de la biodigestión.

3.5.1 Monitoreo de gases y Estimación del potencial de producción de biogás

El monitoreo de gases se realizó con el fin de obtener cuadros en los que se describe la producción de biogás en relación al tiempo de retención y la temperatura. Para ambos biodigestores se identificaron los gases y su proporción con ayuda de un detector de gases de marca BW technologies. Modelo # GAMIC – 2.

Para realizar la estimación del volumen total de producción de biogás, se monitoreó el biodigestor artesanal propuesto por la FAO en 1987. Para esto se hizo uso de una cámara de gas totalmente hermética (neumático). Para los cálculos se siguieron los siguientes pasos y consideraciones:

- Se pesó inicialmente el neumático tratando de quitarle la mayor cantidad de aire presente en él.
- Cada dos días se pesó el neumático para estimar la cantidad de gas producido en ese lapso de tiempo.
- Al peso obtenido en cada medición se le restó el peso del neumático para aproximar de esa manera el peso del biogás contenido en la cámara.
- Al peso del biogás se le dividió la densidad del biogás. Según Rehling, 2001. citado por Pinto, F (s.f.) la densidad del biogás es de 1.2 g /L con esto se obtuvo el volumen de biogás acumulado hasta la fecha de muestreo.
- Para aproximar la cantidad total de biogás producido por 35 galones de desechos porcícolas, se realizó la suma de la cantidad producida en cada intervalo de tiempo (2 días) de todas las mediciones. Se decidió tomar este intervalo ya que se deseaba obtener una curva detallada del comportamiento de producción de biogás.
- Las mediciones se realizaron hasta el día 45 de retención. Por razones de logística y tiempo.

3.5.2 pH

La estimación de pH se realizó de manera sencilla con ayuda de un pHmetro (Sension 156 de Hach Company). Se monitoreó el pH del líquido que ingresó al biodigestor y posteriormente el líquido a los 50 días de retención. (Sólo del biodigestor tipo Taiwán, por ser éste el que comenzó producción de metano).

3.5.3 Temperatura

Los datos de temperatura se obtuvieron de dos formas, la temperatura ambiente se estableció con ayuda de la estación meteorológica automatizada de Zamorano y los datos internos (temperatura dentro del biodigestor) se realizó de manera externa, es decir con ayuda de un termómetro infrarojo (termómetro Infrapo 1 de OAKTON).

3.5.4 Horarios

Todas las mediciones se realizaron día por medio a las 4: 30 p.m. se escogió este horario por razones logísticas y por ser la tarde la hora en la que el calor del día se ha acumulado en el biodigestor.

3.5.5 Métodos de laboratorio

Para comparar la DBO y presencia de coliformes fecales antes y después de 50 días en el biodigestor se tomó una muestra del agua que ingresó diariamente a éste y el agua que resultó posterior a los 50 días de retención (efluente del biodigestor que salía por el tubo correspondiente).

Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de la Universidad Tecnológica (UNITEC) de Honduras. Este sigue los métodos del “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA/AWWA/WPCF”. Utilizando los siguientes métodos para cada una de las pruebas:

3.5.5.1 **DBO**, Método 507 y 421 B. Modificación con Azida de Sodio.

3.5.5.2 **Coliformes fecales**, NMP Coliformes Totales / Fecales. Método 908. Multiple tube fermentation Technic for member of the coliform group.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 GENERACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS PORCÍCOLAS DE LA UNIDAD DE CERDOS DE ZAMORANO

Las aguas residuales de esta unidad están compuestas principalmente por y alimento desperdiciado.

Los desechos sólidos emitidos por los 832 animales promedio (Anexo 6) contienen 44.95% de humedad. (Anexo 7). Teóricamente la unidad de cerdos produce aproximadamente 2246 Kg./día de excretas (heces más orina, Anexo 8). Según mediciones de Josué Arias (Estudiante de Ciencia y Producción Agropecuaria, que se encuentra realizando la tesis Evaluación del manejo de aguas residuales de unidades porcícolas.) se logran limpiar en seco 535 Kg. (Anexo 10), por lo tanto sólo un total de 1711.14 Kg. de desechos van a la caja de retención de efluentes (caja antes del separador de sólidos).

La cantidad total de agua utilizada para lavado es de 14.52 m³/ día (Datos tomados por el módulo de Manejo Ambiental de Zamorano. Detalle Anexo 9). Según esto y el dato de excretas la proporción de agua:excretas, en la caja de retención de efluentes es de 6.5 L de H₂O por cada Kg. de desechos, es decir una relación 6.5:1 de agua:excretas.

Según la bibliografía un biodigestor funciona de buena manera cuando la proporción de agua:excretas es de entre 4:1 a 5:1 , sin embargo en la evaluación realizada se decidió no modificar esta relación ya que difícilmente en una Unidad porcícola dedicarían tiempo y mano de obra para alcanzar una concentración adecuada del efluente que ingresará al biodigestor.

Se obtuvo también, que el efluente diario de la unidad de cerdos contiene 1.41% de sólidos totales, esta cifra teóricamente debería ser de 3%. Esto demuestra un uso no ideal del recurso agua, Anexo 8.

4.2 RESULTADOS ESPERADOS

Basándonos en datos teóricos, respecto a producción potencial de biogás, los resultados que debieron darse son los siguientes:

4.2.1 Biodigestor Tipo Taiwán

En el anexo 2 se especifica las dimensiones del biodigestor de polietileno que se instaló en la unidad de cerdos.

El biodigestor tiene capacidad para almacenar:

- *Fase líquida (70%)* = $5.89 \text{ m}^3 = 5888.1 \text{ L}$ de efluente
- *Fase gaseosa (30%)* = $2.52 \text{ m}^3 = 2523.5 \text{ L}$ de biogás

En teoría este biodigestor debería estar produciendo a partir del día treinta 2.52 m^3 de biogás diariamente, esto equivale a $919.8 \text{ m}^3/\text{año}$.

La siguiente y demás tablas, se elaboraron a partir de las siguientes equivalencias: Capacidad calorífica: $6 \text{ KWh}/\text{m}^3$ biogás; Costo de energía: $2 \text{ Lps}/\text{KWh}$ (Este es mayor al real de 1.65 Lps , pues incluye un incremento relacionado con la corrección por “Ajuste de combustible”); Cantidad de CO_2 que se emite al quemar un KWh : 0.34 Kg. CO_2 . El precio de comercialización de 1 Tonelada de CO_2 oscila entre \$ 10 a 50 (Según la Licda Magda Díaz, 2006. Jefe de Unidad de medio ambiente y desarrollo CODENSA-Colombia 1 tonelada de carbono puede comercializarse por $10\$$ en el mercado de carbono (esto es fluctuante en el mercado)

Cuadro 2. Beneficios económicos que se obtienen de un biodigestor de 8.3 m^3

Producción de Biogás ($\text{m}^3/\text{año}$)	Energía producida ($\text{Kwh}/\text{año}$)	Valoración económica energía producida (\$./ año)	Disminución en emisión de CO_2 ($\text{Kg}/\text{año}$)	Disminución total en emisión de CO_2 (Toneladas/año)	Valoración económica disminución de emisiones de CO_2 (\$/año)	Total \$ por energía producida y emisiones de CO_2 evitadas
919.80	5518.80	584.31	1876.39	1.88	18.76	603.07

Es importante destacar que se debe realizar la equivalencia de esta cantidad de energía a toneladas/año de CO_2 ya que esta tecnología estaría evitando la utilización de otro tipo de energía que emita CO_2 .

Teóricamente una familia rural que adopte esta tecnología estaría recibiendo un total de \$603.07 a lo que deberá restarle el primer año la inversión realizada en la construcción del biodigestor.

En esta y las siguientes tablas se asumen los mismos precio para cada Kwh. y la misma equivalencia de Kg. CO₂/ año.

4.2.2 Biodigestor FAO 1986

Este biodigestor tiene capacidad para recibir 35 galones, pero solamente se llenó el barril hasta 32.5 galones equivalentes a 0.123 m³, esta cantidad de líquido debería producir el 30 % de su volumen es decir 0.0369 m³ de biogás por día (asumiendo que desde el día 30 comienza el proceso de biodigestión completamente).

4.2.3 Producción potencial de energía en la unidad de cerdos

Según los datos obtenidos en el anexo 8, esta Unidad porcícola en promedio produce 205.34 Kg/día de materia seca. Los datos del anexo 1 nos indican que por cada kg de materia seca se produce en promedio 0.3 m³, tomando en cuenta esto, afirmamos que potencialmente la Unidad de cerdos produciría aproximadamente 61.60 m³/ día es decir 22484.73 m³/año.

Cuadro 3. Beneficios económicos potenciales que podrían generar los desechos de la Unidad de Cerdos

Producción de Biogás (m ³ /año)	Energía producida (Kwh/año)	Valoración económica energía producida (\$./ año)	Disminución en emisión de CO ₂ (Kg./año)	Disminución total en emisión de CO ₂ (Toneladas/año)	Valoración económica disminución de emisiones de CO ₂ (\$/año)	Total \$ por energía producida y emisiones de CO ₂ evitadas
22484.73	134908.38	14283.58	45868.85	45.87	458.69	14742.26

Se debe tomar en cuenta que estos cálculos se cumplen sólo si toda esta cantidad de excretas fueran canalizadas y llevadas a condiciones ideales (temperaturas adecuadas, un modelo de biodigestor adecuado a un sistema de producción de considerable dimensión, proporción adecuada de agua-excretas, etc.)

Los datos teóricos lanzan cifras magníficas si se realiza la respectiva equivalencia a su precio de mercado, estos resultados deben compararse con los resultados obtenidos, ya que una serie de factores influyen sobre la producción de biogás.

Se debe recordar también que para producir toda esta cantidad de biogás y posteriormente convertirla en energía se incurrirá el primer año en inversiones para infraestructura por la alta cantidad de desechos que emite esta unidad, se debe recurrir a biodigestores de tipo industrial.

Se puede rescatar también que al margen de los beneficios económicos directos de la producción de biogás tenemos también la disminución de emisiones de CO₂, lo cual ambientalmente es un importante logro.

4.3 RESULTADOS OBTENIDOS

Una serie de factores causaron la lejanía o cercanía con los datos teóricos, a continuación se describen los resultados obtenidos y sus factores determinantes.

4.3.1 Biodigestor Tipo Taiwán

La instalación de este tipo de biodigestor se realizó con éxito, pero se tuvo dificultades con su mantenimiento, por ser el material de construcción muy susceptible a rupturas. Se observó que aves carroñeras que se encuentran en la Unidad de Cerdos atraídas por la compostera (muy cercana al biodigestor) comenzaron a picar el plástico. La ruptura fue identificada al día 18 de la instalación.

Se reparó la ruptura más visible con ayuda de cinta gris especial para ductos, lo cual resultó efectivo, pero fue difícil identificar pequeños huecos causados por estas aves. Este suceso fue clave para entender la aplicabilidad e intensivos cuidados que este tipo de biodigestor requiere. Hecho de especial importancia si se implementa en hogares rurales con escasa educación.

La toma de datos no se vio alterada del todo, a pesar de las fugas se pudo identificar la composición del biogás resultante de un efluente altamente diluido. Se monitoreó la composición de CH₄ y O₂ del biogás asumiendo que la composición no varía con el volumen de biogás.

La composición del biogás de acuerdo a los días de retención que se evaluaron y la temperatura ambiente generado por excretas de la Unidad de Cerdos de Zamorano es la siguiente:

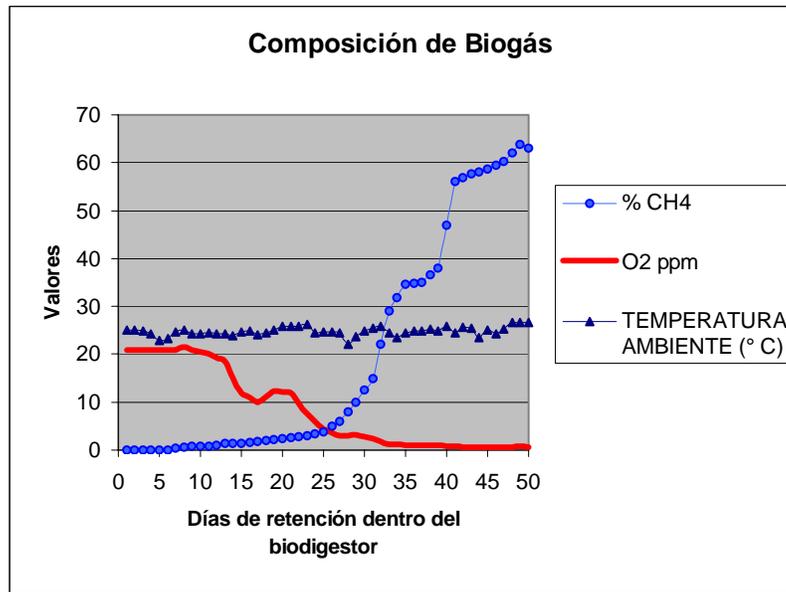


Figura 11. Composición del biogás obtenido de la Unidad de cerdos de Zamorano.

Los datos indican que la producción de metano más significativa comienza cuando el sistema se hace propiamente anaeróbico, se observa en la Figura 11 que el día 26 tanto el oxígeno como el metano se encuentran en proporciones similares, dando origen al rápido ascenso de producción de metano que comenzará desde este día.

La literatura menciona que al día 30 de retención la composición del biogás debe ser alta en metano. Al día 30 los desechos porcícolas de Zamorano han producido solamente 12.5% de metano, esto puede deberse a la inadecuada proporción excretas-agua con la que ingreso al biodigestor. En cierta medida también puede afectar la ruptura que sufrió el día 18 lo cuál, lógicamente, alteró las condiciones anaeróbicas que se estaban conformando dentro del biodigestor,. De cualquier modo, el desfase en la producción de metano es una parte muy evidente en la curva de composición de biogás.

La producción de biogás comienza a ser estable en estas condiciones a partir del día 47 de retención.

Las curvas tanto del CH₄ como del O₂, se muestran bastante cerca de las curvas ideales, esto demuestra la potencialidad de las excretas porcícolas de Zamorano para la producción de biogás de calidad, es decir alto en porcentaje de metano.

4.3.2 Biodigestor FAO 1986

El propósito para la implementación de este modelo de biodigestor era evaluar su aplicabilidad y tomar datos lo más exactos posibles de volumen de biogás por ser este biodigestor hermético y de materiales más duraderos. En este caso no se pudo realizar tal

medición, ya que la producción de metano al día 45 de retención apenas es apreciable. Por ello sería erróneo basarse en estos datos para determinar el volumen de producción de biogás, más cuando se sabe que la producción en no tan óptimas condiciones y con algunas dificultades (modelo tipo Taiwán) comienza a acelerarse en el día 25.

La temperatura dentro del biodigestor se mostró por encima del promedio de temperatura ambiente (Fig. 12), se aprecia que a partir del día 10 comienzan a mostrarse reacciones químicas dentro del biodigestor, tomando en cuenta el aumento de temperatura como un indicador. (Gráfico elaborado a partir de datos del anexo 12).

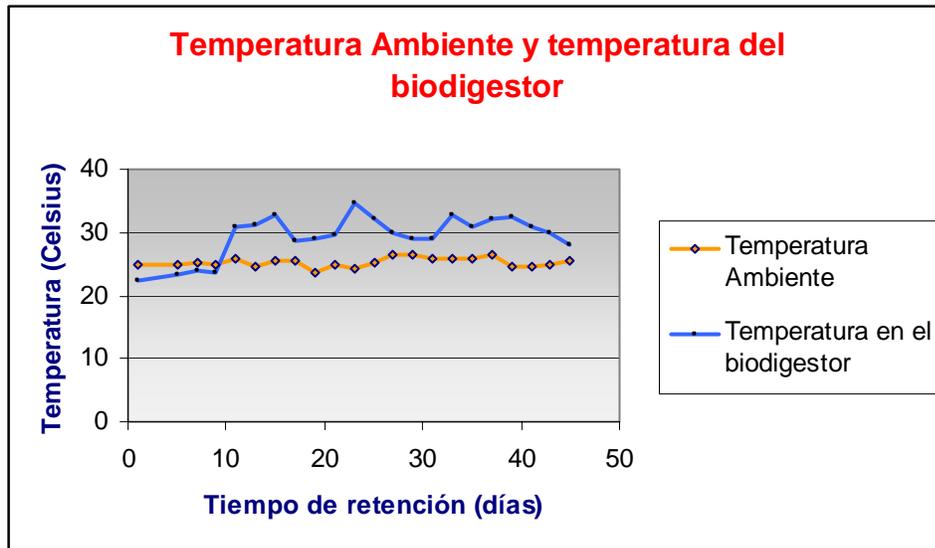


Figura 12. Temperatura ambiente Vs temperatura dentro del biodigestor

En el Anexo 12 se muestra la poca producción de metano que se logró monitorear en este biodigestor (sólo 1.3 % de CH_4 y el O_2 bajó sólo a 18%). Se presume que la poca producción se debe a una alta dilución de los desechos porcícolas con los que se cargó el biodigestor. El biodigestor fue trasladado de lugar, quizás esto también alteró de alguna manera las reacciones que se estaban llevando a cabo dentro del mismo.

Comparando estos resultados con los esperados, podemos observar que los obtenidos se encuentran muy alejados a los teóricos. Esto demuestra lo delicado que puede ser predecir datos sólo a partir de otras experiencias o datos teóricos.

Se debe tomar en cuenta que este biodigestor se encuentra todavía en producción y en realidad su evaluación final no está definida.

4.3.3 Eficiencia del biodigestor

Los Anexos 13 y 14 detallan los análisis de aguas residuales tomadas a la entrada y a la salida del biodigestor, los análisis mostraron los siguientes resultados:

Cuadro 4. Depuración de aguas, en el biodigestor modelo Taiwán

Análisis	Entrada del biodigestor	Salida del biodigestor	Valor normado
DBO ₅ (20° C)	2400 mg./L	1097 mg./L	50 mg./L
NMP Coliformes Fecales	15 X 10 ⁷ / 100 mL	15 X 10 ⁶ / 100 mL	5 X 10 ³ / 100 mL

Esto significa una disminución de 54 % en la DBO, una cifra alentadora pero debajo de las cifras obtenidas en otras experiencias que indican que un biodigestor puede depurar la DBO de aguas residuales en 80 %.

Los coliformes fecales disminuyeron en 10%, algunas experiencias reportan esta disminución incluso en 50 %.

5 CONCLUSIONES

El modelo Taiwán es muy delicado, por el tipo de material con el que está construido, requiere de una adecuada protección y mantenimiento. Este es un hecho que debe tomarse en cuenta antes de tomar decisiones para su implementación. En este experimento se instaló un biodigestor de 2 m de longitud con 0.9 m de profundidad y 0.8 m de ancho por cada m^3 de efluente (siempre y cuando el perímetro del tubular sea igual a 3.25 m), por lo que las dimensiones se tornan inmanejables cuando la disponibilidad de espacio es limitada y las aguas residuales se encuentran en muy altas cantidades. Este tamaño y modelo (8 a $10 m^3$) sirve para que una familia de 6 a 8 miembros pueda cocinar 2 ó 3 comidas o hacer funcionar un refrigerador todo el día o alimentar un motor generador de 3 Kw. durante una hora, logrando una producción de 5518 Kwh./año equivalente a 584.31\$.

El modelo FAO es muy pequeño y al día 45 sólo produjo 4.17 litros de biogás, esta cantidad es inadecuada si se quiere usar para cocción dentro de un hogar rural. Se debe recalcar que este biodigestor se encuentra todavía en producción y en realidad su evaluación final no está definida del todo.

Con una relación excreta – agua del doble de lo aconsejable se obtiene una producción de metano adecuada después del día 47 de retención (Biodigestor modelo Taiwán). Según algunos autores éstos son óptimos resultados por estar dentro de los 50 días, pero otros autores establecen que la adecuada producción se debe alcanzar a partir del día 30.

En general se puede decir que la producción de biogás en el modelo Taiwán fue bastante buena, tomando en cuenta que no sólo la relación excretas – agua afectaron la producción de biogás, sino también eventos como la ruptura del tubular. En cambio en el modelo FAO, presumiblemente la inadecuada relación excretas – agua fue determinante ya que afectó negativamente la producción de biogás. Quizás esta diferencia en ambos modelos se debe a que el modelo Taiwán es de flujo continuo y una entrada de aguas residuales rica en agua puede ser compensada con la entrada de efluentes con una baja dilución, en cambio el modelo FAO sólo cuenta con una entrada de efluentes y no tiene oportunidad a compensación.

La temperatura ambiente en estos meses del año (julio, agosto y septiembre) se mantuvieron casi constantes, esto fue un factor positivo para el funcionamiento del biodigestor pues se evitaron cambios repentinos de pH o alteraciones en la producción. Se tomó la temperatura dentro del biodigestor como indicador de ocurrencia de reacciones químicas, en el modelo FAO dicha temperatura comenzó a ser mayor a la temperatura ambiental en el día 10.

Comparando los datos de entrada de DBO con los de salida (Biodigestor tipo Taiwán) se puede afirmar que existe depuración de aguas residuales, en este caso se verificó una disminución en 54 % de la DBO, otras experiencias reportan que se puede alcanzar una disminución de 80 %.

Comparando los datos de entrada de coliformes con los de salida (biodigestor tipo Taiwán), se constató una pequeña disminución (10%). Quizás la temperatura que alcanzó el biodigestor no fue la adecuada para comenzar a disminuir la población de este tipo de microorganismos.

Con desechos con similares características a los emitidos por la Unidad de Cerdos de Zamorano es posible obtener biogás con 63 % de CH₄ en su composición, lo cuál es un buen indicador de calidad del biogás.

Una unidad de cerdos del tamaño de la del Zamorano, tomando en cuenta los datos obtenidos e investigados puede producir potencialmente 22484.73 m³/año de biogás equivalente a 134908.38 Kwh/año y US \$14283.58 por año y puede reducir en 45.87 ton/año las emisiones de CO₂ a la atmósfera al usar su biogás como fuente de energía.

La adopción de la tecnología de biogás, muy al margen de los beneficios económicos directos, podría mostrarse ventajosa cuando se trata de analizar beneficios funcionales tales como depuración de aguas, utilización de lodos para enmiendas al suelo y como primera fase de tratamiento de desechos.

6 RECOMENDACIONES

Las personas de nuestra región por prejuicios de tipo cultural no se encuentran anuentes a utilizar la energía generada por biogás para cocción de alimentos. Por ello se recomienda promover proyectos de energía por biogás para iluminación y funcionamiento de motores.

Si la tecnología del biogás con ayuda de biodigestores de polietileno de baja densidad quiere replicarse, se deben tomar en cuenta las necesidades de protección, mantenimiento e implicaciones en horas de trabajo que esto requiere. También resulta útil mejorar las debilidades del modelo. Se recomienda usar calibres mayores (en la construcción del modelo Taiwán ya que un calibre bajo aumenta la probabilidad de posibles rupturas o daños en el biodigestor. Se recomienda construir una cerca firme alrededor y techo para proteger el biodigestor).

Por su pequeña escala el modelo recomendado por la FAO en 1986 se debe tomar en cuenta sólo para la producción de cantidades muy bajas de biogás. Sin embargo bajo estas condiciones resulta resistente, barato y de fácil operación. Este biodigestor se puede instalar independientemente de la cantidad de animales ya que no se encuentra conectado directamente a la salida de efluentes de una porqueriza, sino que el productor es el que llena manualmente este biodigestor.

Antes de pensar en la utilización de biodigestores como mecanismos de depuración de aguas o de generación de energía, se debe pensar en acciones de reducción en la fuente, es decir en la eficiencia en el uso de agua, una mejor limpieza en seco y mejor utilización de los recursos en general.

En una Unidad Porcina, difícilmente la introducción de un sistema de producción de energía a base de desechos, que además actúa como un sistema de descontaminación de aguas, será fácilmente aceptado si el sistema de aprovechamiento de desechos requiere de mucho personal o trabajos adicionales. Por ello al seleccionar mecanismos que utilicen esta tecnología deben ser tomados en cuenta los factores culturales y económicos, realizando un análisis de beneficio-costos incluyendo externalidades. Se recomienda en caso existan trabajos que continúen a la presente investigación, tratar de cuantificar los otros gases componentes del biogás que por razones de logística y materiales no se pudieron cuantificar en este estudio. De esta manera se tendrá una mejor apreciación de los beneficios ambientales que implica esta tecnología.

Al utilizar esta tecnología se debe tratar en lo posible no alterar ninguno de los factores determinantes, es decir: pH, temperatura, relación agua:excretas; esto se puede lograr dándole el mantenimiento adecuado al biodigestor y promoviendo acciones de racionalización de recursos (en el caso de uso de agua).

Según las condiciones del estudio la unidad de cerdos puede reducir su DBO en un 54 % usando un biodigestor pero sólo en un 10 % la presencia de coliformes fecales. Si se utilizaran biodigestores antes de las lagunas de oxidación las aguas llegarían con una DBO menor. Tomando en cuenta que en las mejores condiciones una laguna de oxidación disminuye en 95 % la DBO y sumándole la caída de agua que existe antes de llegar a la quebrada se cumpliría con los valores que exige la legislación hondureña. La cuál lastimosamente en la actualidad no se está cumpliendo.

La extrapolación directa de la experiencia de este trabajo quizás sólo sea posible para zonas aledañas y en condiciones muy similares a las que se encuentran los desechos de la Unidad de Zamorano. Pero el mismo manifiesta la necesidad de inversiones en investigaciones y desarrollo tecnológico en este sector, para planificar y aunar esfuerzos para que de esta manera se encuentren las soluciones adecuadas a cada realidad, es decir a cada hogar rural o unidad emisora de desechos de tipo orgánico.

Pensar en proyectos de este tipo es bastante sensato cuando nos encontramos frente a crisis energéticas y a sistemas económicos dependientes del petróleo y del uso de la leña. También este tipo de proyectos pueden ser beneficiados por los llamados mercados de carbono, ya que los beneficios ambientales que brinda son valiosos. Por ello se sugiere trabajos y acciones que profundicen los conocimientos que se obtuvieron en el presente trabajo.

7 BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, F.X.; Botero R. 2006. Los beneficios económicos totales de la producción de biogás utilizando un biodigestor de polietileno de bajo costo. *Tierra Tropical: Sostenibilidad, Ambiente y Sociedad* 2(1):15-25.

Andrés Cruz, 2006. Antecedentes del uso de biogás en Honduras (entrevista). Dirección General de Energía. Tegucigalpa.

Asociación colombiana de porcicultores, Fondo Nacional de la porcicultura, Sociedad de agricultores de Colombia, 2002. Guía ambiental para el subsector porcícola, 229 p.

ASOCIACION MEXICANA PARA EL CONTROL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS Y PELIGROSOS. (AMCRESPAC). 1993. Indicadores sobre los servicios de aseo urbano y el control de los residuos sólidos y peligrosos. Notas primera parte. México v3, Tomo I.

Castillo, J. 2006. Palmeros convierten agua tratada en energía. *La Prensa HN*. Ago.26: 6.

CIPAV, 1998. Descontaminación de Aguas Servidas en la Actividad Agropecuaria. Cartilla. CIPAV, Cali.

Dirección General de Estadística e Información Ambiental (en línea). Consultado en 1 de septiembre de 2006., Disponible en: http://www.semarnat.gob.mx/playas/nuevo/analisis_tecnico02.shtml

Drucker, G ; Escalante, R; Gómez, V; Magaña, S. 2003. La industria porcina en Yucatán: Un análisis de la generación de aguas residuales (en línea). *Problemas del Desarrollo Revista Latinoamericana de Economía*. Vol. 34, núm. 135, X-XII/2003. Consultado 4 septiembre 2006. Disponible en http://www.ejournal.unam.mx/problemas_des/pde135/PDE13507.pdf#search=%22uso%20de%20agua%20en%20sistemas%20porc%C3%ADcolas%20eficientes%22

Electrigaz, 2006. Biogás digestor, sistemas sostenibles de energía (en línea). Consultado 10 feb 2006. Disponible en http://www.electrigaz.com/biogas_es.htm

Energía and Resources Honduras (en línea). Consultado en 19 de octubre de 2005. Disponible en: http://earthtrends.wri.org/pdf_library/country_profiles/ene_cou_340.PDF

FAO y consejo mundial de energía mayor prioridad a los problemas de energía en las zonas rurales (en línea). Consultado en 18 de octubre de 2005. Disponible en: http://www.fao.org/WAICENT/OIS/PRESS_NE/PRESSSPA/2000/prsp0001.htm

FAO, Testimonio de mujer rural en El Salvador (en línea). Consultado en 20 de agosto de 2006. Disponible en; <http://www.rlc.fao.org/redes/redctmr/exels.htm>

Flotats, X., Campos, E., Bonmatí, A.(s.f.). Aprovechamiento energético de residuos ganaderos. Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo. Universitat de Lleida.

G. Moncayo (2003) EAP Zamorano “La producción y el aprovechamiento del biogás”. Documento de consultoría. Tegucigalpa-Honduras.

G. Moncayo (2003).EAP Zamorano “El tratamiento de aguas residuales y desechos orgánicos en digestores biológicos anaeróbicos y producción de biogás”. Tegucigalpa-Honduras.

Grupo Aqualimpia (s.f). Proyectos realizados y en ejecución del Grupo AquaLimpia (en línea). Consultado en 19 de agosto de 2006. Disponible en: <http://www.aqualimpia.com/Proyectos.htm>

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS. 1980. Digestores de desechos orgánicos. Organización Latinoamericana de Energía, Cuernavaca, Morelos (México) Boletín Energético 14.

Integrated Household Energy Suply. Gate 1991 No. 1/91.

Iowa State University, 1985. Livestock Waste Facilities Handbook.Second edition.

J. Dávila. 2002.Valoración económica del recurso agua en la comunidad Frijolares, Güinope, Honduras. Tesis Ing. Desarrollo Socioeconómico y ambiente, Zamorano, Honduras. 79 p. Fuente original: Romero, C. 1997. Economía de los recursos ambientales y naturales. 2ª Ed. Alianza Economía. Madrid

Kossmann, W y Pönitz, U, 1989 Biogas Digest. Volumen 1. Biogas Basics. Information and Advisory Service on Appropriate Technology. 48p.

L. Ramirez (2004).Generación eléctrica por medio de biogás. Proyecto Especial como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero Electrónico. Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica.

MCGarry and J. Stainforth (1976). Compost fertilizar and biogas production from human and faro wastes in the People’s Republic of China. IDRC- TS8e. Ottawa – Canada.

Mejía, C; Rivas, F; Urbina, C. 2002. Identificación de empresas generadoras de aguas residuales y/o desechos sólidos en El Salvador.(en línea). Nueva San Salvador. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Consultado 5 feb. 2006. Disponible en www.mag.gob.sv/admin/publicaciones/upload_file/1121102122_76.pdf

Northeast Regional Agricultural Engineering Service (NRAES), 1998. Liquid Manure Application Systems Design Manual. 168 p.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1983. El biogás, Producción y utilización. Serie mejores cultivos. Roma-Italia. Pag 52.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1986. El biogás 2. Construcción de unidades perfeccionadas. Serie mejores cultivos. Roma – Italia. Pag 47.

Paz, L; Arboleda, M. 1999. Uso del agua y diseño experimental para el tratamiento de efluentes de la Planta de Lácteos Zamorano. Tesis Ing. Agr. Tegucigalpa, HN. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, 52 p.

R. Botero, T. Preston (1987). Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. “Manual para su instalación, operación y utilización”.

R. Espinel; L. Solarte (1995). Biodigestor plástico de flujo continuo, generador de gas y bioabono a partir de aguas servidas. Fundación Centro para la investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV) Cali- Colombia.

Rehling. 2001 – Slides. Slides for Biogas. of MSc. Program on Sustainable Energy Systems and Management. Rehling Uwe. University of Flensburg. *Fuente original:* Pinto, F (s.f.). Energías Renovables y Desarrollo Sostenible en Zonas Rurales de Colombia. El caso de la Vereda Carrizal en Sutamarchán. 22: 22.

Reinerio Zepeda, 2006. Razones de la poca disseminación de la tecnología del biogás en Honduras (correo electrónico). Tegucigalpa.

Rosario Pérez Espejo. (s.f). Porcicultura Intensiva y Medio Ambiente en México Situación actual y Perspectivas (en línea). Universidad Autónoma de México. Consultado 3 agosto de 2006. Disponible en <http://www.cipav.org.co/cipav/conf/espejo.htm>

Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente, 2005. Plan de acción para la Implementación de una Política Energética Nacional Sostenible.(en línea). Consultado en: 6 de Agosto de 2006. Disponible en: <http://www.serna.gob.hn/documentos/CONTENIDO%20PLAN%20DE%20ACCION%20ENERGIA.pdf>.

UNICEF, 1999. La Higiene (en línea). Consultado en 15 de agosto de 2006. Disponible en: <http://www.unicef.org/spanish/ffl/09/>

Werner, U., Stöhr, U., Hees, N. (s.f.). Biogas Plants in Animal Husbandry. Deutsche Zentrum Für Entwicklungstechnologien (GATE) (en línea). Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) Consultado en 30 de Julio de 2006. Disponible en: www.undp.kz/library_of_publications/files/155-28461.zip

8 ANEXOS

Anexo 1. Datos de la tecnología del biogás

Temperatura adecuada de funcionamiento	20 a 35 °C
Tiempo de retención	30 días
Contenido energético del gas	23000 KJ/m ³ (6kWh/m ³)
Generación de biogás	0,3 m ³ de biogás por m ³ de digestor y día. Entre 0,2 y 0,4 m ³ de biogás por Kg. de biomasa seca.
Producción por una vaca	9 a 15 Kg. estiércol/día = 0,4 m ³ gas/día
Producción por un cerdo	2 a 3 Kg. de estiércol/día = 0.15 m ³ gas/día
Gas usado para cocinar	0,1 a 0,3 m ³ /persona
Para una lámpara	0,1 a 0,15 m ³ /h
Para motores	0,6 a 1 m ³ /kWh

Fuente: Diferentes autores, Aguilar y Botero, Ramírez (2004)

Anexo 2. Cálculo de la dimensión del biodigestor tipo Taiwán

Dado que la presente investigación es de tipo experimental y tomando en cuenta los materiales disponibles de la zona, se trabajó con las siguientes dimensiones:

- $Diámetro = Perímetro/\Pi \rightarrow 3.25 \text{ m}/3.1416 \rightarrow 1.03 \text{ m}$
- $Radio = Diámetro/2 \rightarrow 1.03/2 \rightarrow 0.52 \text{ m}$

El cálculo para aproximar el volumen total del biodigestor es similar al de un cilindro.

- $Volumen \text{ del cilindro} = \Pi * radio^2 * longitud$
 $Volumen \text{ del cilindro} = 3.1416 * (0.52 \text{ m})^2 * 10\text{m}$
 $Volumen \text{ del cilindro} = 8.41\text{m}^3 = 8411.6 \text{ L}$
- $Fase \text{ líquida (70\%)} = 5.89 \text{ m}^3 = 5888.1 \text{ L de efluente}$
- $Fase \text{ gaseosa (30\%)} = 2.52 \text{ m}^3 = 2523.5 \text{ L de biogás}$

La longitud del plástico utilizada es mayor que la longitud de la fosa, los 12 m extras se usaron para un buen amarre y repliegue del plástico en cada tubo de concreto ubicado a los extremos de la fosa.

Si se tiene capacidad para almacenar 5.89 m³ (fase líquida) y se dan 30 días de retención del efluente dentro del biodigestor debe ingresar 196.27 L /día, es decir si tomamos un balde de 5 galones, se deben llenar completamente 10 baldes, cada balde debe contener teóricamente 1/5 parte de excremento y el resto será agua.

Anexo 3. Cálculo de la Dimensión de la fosa de alojamiento del biodigestor

Para protección del cilindro de polietileno y para utilizarlo de aislante térmico se construye una fosa, el ancho superior y la profundidad de la fosa deben equivaler al 90% y 80% del diámetro de la bolsa, estos porcentajes permiten la formación del depósito de gas en la parte superior y que la bolsa se mantenga en forma de un trapecio invertido (por ayuda de las paredes).

Cálculo de la dimensión de la fosa			
	%	Diámetro del plástico (m)	Longitud (m)
Base Mayor	90	1,034	0.93
Base Menor	80	1,034	0.82
Altura	80	1,034	0.83

Anexo 4. Costos de materiales para construcción del biodigestor Tipo Taiwan

COSTOS DE MATERIALES PARA CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR "TIPO TAIWAN"				
Material	Cantidad	Unidad	Costo por Unidad (Lps.)	Costo Total (Lps.)
Tubular de polietileno transparente, calibre * 6 u 8, de 8 metros de perímetro ¹	42	metros	15,0	630,0
Tubos de concreto 12 a 18 pulg.	2	unidades	600,0	1200,0
Manguera plástica flexible de jardín, vinilo transparente	3	metros	77,6	232,8
Adaptador macho en PVC de 1/2 pulg. De diámetro	1	unidad	1,3	1,3
Adaptador macho en PVC de 1 pulg. De diámetro	1	unidad	3,4	3,4
Adaptador hembra en PVC de 1 pulg. De diámetro	1	unidad	5,1	5,1
Tee en PVC de una pulgada de diámetro	1	unidad	10,9	10,9
Reducciones no roscadas (bujes), en PVC de 1 a 1/2 pulg. de diámetro	2	unidades	2,8	5,5
Codos de 90° en tubería gris en PVC de 1 pulg. De diámetro	3	unidades	6,6	19,8
Tapón cementado (liso) en PVC para una pulgada	1	Unidad	3,7	3,7
Tubería gris (de presión) en PVC de 1/2 pulg. De diámetro y 50 cm. de largo	1	unidad	0,5	0,5
Niples de 10 cm c/u	6	unidades	21,0	126,0
Tubería conduit** en PVC de 1 pulg. de diámetro	10	metros	6,7	67,1
Frasco de pegante (soldadura) para PVC (1/4 galón)	1	unidad	169,6	169,6
Tubería galvanizada de 1/2 pulg. De diámetro, roscada en ambos extremos, de 50 cm. de long.	1	unidad	2,2	2,2
Codo en tubería galvanizada de 1/2 pulg. de diámetro	1	unidad	5,3	5,3
Niple de 10 a 12 cm. en tubería galvanizada de ½ pulg. De diámetro, roscado en ambos extremos.	1	unidad	3,0	3,0
Abrazaderas metálicas de cremallera con ajuste desde 1 hasta 1 1/2 pulg.	4	unidades	50,0	200,0
Llave de paso en bronce o de balín de 1/2 pulg.	1	unidad	62,5	62,5
Arandelas de plástico	2	unidades	6,0	12,0
Lápiz marcador de tinta en color oscuro	1	unidad	20,0	20,0
Frasco en plástico transparente, sin tapa, de 3 a 4 litros de capacidad	1	unidad	5,0	5,0
Empaques de neumáticos usados de 20*20 centímetros de diámetro	2	unidades	2,0	4,0
Correas en neumático usado	6	unidades	2,0	12,0
Sacos usados de polipropileno	8	unidades	1,0	8,0
Espojilla o alambriña metálica de lavar ollas	1	unidad	20,0	20,0
Mano de obra para abrir fosa (para alojar el biodigestor)	15	Días	80,0	1200,0
TOTAL (Lps.)				4029,7
TOTAL (\$)²				213,3

*Calibre dado comercialmente en milésimas de pulgada

** Tubería comercial en PVC, utilizada para la conducción de redes eléctricas

¹El tubular de polietileno que se adquirió no tenía protección UV (es recomendable que lo tenga) ² Tasa de cambio: 18.8953 Lempiras = 1 US\$ (compra)

Anexo 5. Costos de materiales para construcción del biodigestor modelo FAO 1986

COSTOS DE MATERIALES PARA CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR MODELO FAO 1986				
Material	Cantidad	Unidad	Costo por Unidad (Lps.)	Costo Total (Lps.)
Barril de polietileno de alta densidad	1	unidad	320,0	320,0
Niple de metal de 10 cm. de largo y 2 cm. de diámetro	1	unidad	8,0	8,0
Tee de hg de 2 cm. de diámetro en sus aberturas	1	unidad	12,0	12,0
Válvula de balín	1	unidad	62,5	62,5
Una sección de 5 cm. de tubo de cobre de 1 cm. de diámetro	1	unidad	3,4	3,4
Tubo de goma (que se usan en llanterías)	2	metros	60,0	120,0
Neumático mediano	1	unidad	10,0	10,0
Mano de obra	2	horas	10,0	20,0
TOTAL (Lps.)				555,9
TOTAL (\$)²				29,4

Anexo 6. Inventario de animales de la unidad de cerdos de Zamorano

INVENTARIO SEMANAL								
Categorías	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Promedio
Destete	197	143	208	204	231	231	197	202
Crecimiento	215	172	99	108	175	145	173	155
Engorde	221	227	247	245	216	226	206	227
Gestante	106	100	96	96	71	91	96	94
Lactante	21	22	19	18	23	17	24	21
Lechones	118	124	114	107	147	119	143	125
Verraco	8	8	8	8	8	8	9	8
Total	886	796	791	786	871	837	848	832

Datos obtenidos del inventario que se maneja en la Unidad Porcícola de Zamorano

Anexo 7. Porcentaje de humedad de las excretas de la Unidad Porcícola de Zamorano

Número de muestra	Muestra húmeda		% De humedad
	(Kg.)	Muestra seca (Kg.)	
Muestra 1	237,90	128,80	45,86
Muestra 2	211,50	117,23	44,57
Muestra 3	191,20	108,33	43,34
Muestra 4	213,60	115,30	46,02
% Humedad Promedio			44,95

Fuente: Datos adoptados de la tesis en desarrollo de Josué Arias, 2006

Anexo 8. Cantidad de excretas (heces más orina) producidas diariamente por la unidad de cerdos

Categoría	# Promedio de animales	Total desechos por animal (Kg./día)	Densidad Kg/L	Total desechos por animal (L/día)	Total desechos por categoría (L/día)	Total desechos por categoría (Kg./día)	Sólidos total por animal (Kg./día)	Sólidos totales por categoría (Kg./día)
Destete	202	1,05	0,96	1,09	218,75	210,73	0,09	18,32
Crecimiento	155	1,91	0,96	1,98	307,73	296,45	0,18	27,53
Engorde	227	4,45	0,96	4,62	1048,98	1010,55	0,41	92,81
Gestante	94	4,05	0,96	4,20	393,54	379,12	0,37	34,93
Lactante	21	15,00	0,96	15,57	320,31	308,57	1,36	28,05
Verraco	8	5,00	0,96	5,19	42,26	40,71	0,45	3,70
Total					2331,56	2246,14	2,87	205,34

Adopción del comité S&E-412 (Iowa State University) 1985. fuente original: American Society of Agricultural Engineers En esta tabla no se toman en cuenta a los lechones ya que los desechos que estos producen se encuentran cuantificados sumado a los de su madre, es decir la categoría lactantes incluye desechos emitidos tanto por la madre como por sus lechones.

Anexo 9. Cálculo del consumo diario de agua en la Unidad de Cerdos de Zamorano

	Temporada 1	Temporada 2	
Edificio	Consumo de agua m³	Consumo de agua m³	Promedio m³
Engorde 1	2,38	4,67	3,52
Engorde 2	2,94	4,15	3,55
Gestación	3,46	4,18	3,82
Destete	1,53	1,06	1,30
Maternidad	2,13	2,20	2,17
Total	12,45	16,26	14,36

Datos adoptados del módulo de Manejo Ambiental de Zamorano

Anexo 10. Desechos (parte de excretas y parte de orina) recolectados para compostaje en la Unidad de Cerdos de Zamorano

CATEGORÍAS	Recolección de desechos (kg./día)					Total
	Gestación	Engorde 1	Engorde 2	Maternidad	Nursery	
Producción de desechos/edificio	61.1	135	246	31	62	535

Fuente: Josué Arias, 2006, estudiante de Ciencia y Producción Agropecuaria que desarrolla tesis caracterizando los desechos de la Unidad de Cerdos de Zamorano.

Anexo 11. Composición de biogás producido por desechos porcícolas de Zamorano, según días de retención en el biodigestor y temperatura ambiente.

BIODIGESTOR DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD				
FECHA	DÍAS DE RETENCIÓN	TEMPERATURA AMBIENTE (° C)	% CH4	O2 ppm
7/13/06	1	25,08	0	20,9
7/14/06	2	25,08	0	20,9
7/15/06	3	24,85	0	20,9
7/16/06	4	24,28	0	20,9
7/17/06	5	22,94	0	20,9
7/18/06	6	23,23	0	20,9
7/19/06	7	24,58	0,4	20,9
7/20/06	8	25,08	0,5	21,4
7/21/06	9	24,25	0,8	20,9
7/22/06	10	24,35	0,8	20,45
7/23/06	11	24,48	0,8	20
7/24/06	12	24,25	1,05	19,2

7/25/06	13	24,35	1,3	18,4
7/26/06	14	23,95	1,3	15,2
7/27/06	15	24,68	1,3	12
7/28/06	16	24,78	1,55	11
7/29/06	17	24,01	1,8	10
7/30/06	18	24,42	1,95	11,2
7/31/06	19	25,14	2,1	12,4
8/1/06	20	25,77	2,35	12,2
8/2/06	21	25,77	2,6	12
8/3/06	22	25,92	2,8	9,8
8/4/06	23	26,30	3	7,6
8/5/06	24	24,51	3,4	5,95
8/6/06	25	24,64	3,8	4,3
8/7/06	26	24,75	4,9	3,65
8/8/06	27	24,42	6	3
8/9/06	28	22,02	8	3,05
8/10/06	29	23,75	10	3,1
8/11/06	30	24,81	12,5	2,7
8/12/06	31	25,41	15	2,3
8/13/06	32	25,81	22	1,75
8/14/06	33	24,48	29	1,2
8/15/06	34	23,45	31,8	1,1
8/16/06	35	24,38	34,6	1
8/17/06	36	24,85	34,8	1
8/18/06	37	24,78	35	1
8/19/06	38	25,29	36,5	1
8/20/06	39	24,88	38	1
8/21/06	40	25,81	47	0,85
8/22/06	41	24,45	56	0,7
8/23/06	42	25,62	56,8	0,65
8/24/06	43	25,42	57,6	0,6
8/25/06	44	23,56	58,1	0,55
8/26/06	45	25,02	58,6	0,5
8/27/06	46	24,32	59,4	0,55
8/28/06	47	25,18	60,2	0,6
8/29/06	48	26,61	62	0,65
8/30/06	49	26,55	63,8	0,7
8/31/06	50	26,55	63	0,6

Se utilizó promedio móvil para aproximar los días en los que no se hicieron mediciones.

Anexo 12. Producción, composición y temperatura del biodigestor propuesto en 1986 por la FAO

Tiempo de retención	Temperatura Ambiente	Temperatura en el biodigestor	% CH ₄	O ₂ ppm	Volumen de biogás
1	24.85	22.40	0.00	21.40	0.00
5	24.78	23.40	0.00	20.20	0.00
7	25.29	24.00	0.00	20.90	0.00
9	24.88	23.60	0.80	18.90	0.00
11	25.81	31.00	1.00	18.70	0.00
13	24.45	31.20	0.90	18.30	0.00
15	25.62	32.60	0.90	18.10	0.83
17	25.42	28.60	0.80	20.40	0.00
19	23.56	29.00	0.80	22.00	0.00
21	25.02	29.60	1.00	20.90	0.00
23	24.32	34.60	1.00	20.90	0.00
25	25.18	32.00	1.00	20.90	0.83
27	26.61	30.00	1.00	20.90	0.00
29	26.55	29.00	1.00	20.20	1.67
31	25.77	29.00	1.00	20.20	0.00
33	25.77	32.60	1.00	20.00	0.83
35	25.92	31.00	1.10	19.60	0.00
37	26.30	32.00	1.20	19.00	0.00
39	24.51	32.40	1.20	18.00	0.00
41	24.64	31.00	1.20	18.00	0.00
43	24.75	30.00	1.30	18.50	0.00
45	25.65	28.00	1.30	18.50	0.00

El volumen de biogás se aproximó de la siguiente manera:

Tiempo de retención	Masa total (peso neumático+peso biogás) (g)	Masa neumático (g)	Masa del Biogás (g)	Masa del biogás originado en el día (g)	Densidad (g / L)	Volumen almacenado en el neumático hasta la fecha (masa/densidad)
1	1130	1130	0		1.2	0.00
5	1130	1130	0	0	1.2	0.00
7	1130	1130	0	0	1.2	0.00
9	1130	1130	0	0	1.2	0.00
11	1130	1130	0	0	1.2	0.00
13	1130	1130	0	0	1.2	0.00
15	1131	1130	1	1	1.2	0.83
17	1131	1130	1	0	1.2	0.00
19	1131	1130	1	0	1.2	0.00
21	1131	1130	1	0	1.2	0.00
23	1131	1130	1	0	1.2	0.00

25	1132	1130	2	1	1.2	0.83
27	1132	1130	2	0	1.2	0.00
29	1134	1130	4	2	1.2	1.67
31	1134	1130	4	0	1.2	0.00
33	1135	1130	5	1	1.2	0.83
35	1135	1130	5	0	1.2	0.00
37	1135	1130	5	0	1.2	0.00
39	1135	1130	5	0	1.2	0.00
41	1135	1130	5	0	1.2	0.00
43	1135	1130	5	0	1.2	0.00
45	1135	1130	5	0	1.2	0.00

Se asume que la densidad del biogás es de 1.2 g/L. Según Rehling, 2001.citado por Pinto, F (s.f.)

Anexo 13. Análisis de Aguas (Afluente del Biodigestor tipo Taiwán)

INFORME DE RESULTADOS No. 1616

Identificación de muestra: LAGUNA DE CERDOS
Tipo de muestra: AGUA RESIDUAL **Cantidad:** 1 L, 250 mL
Procedencia: ESCUELA AGRÍCOLA PANAMERICANA EL ZAMORANO
Dirección: EL ZAMORANO, VALLE DEL YEGUARE, CARRETERA DE ORIENTE
Solicitado por: ING. CARLOS QUIROZ (LIZETH ALIAGA)
Responsable toma de muestra: EL CLIENTE ES RESPONSABLE DE LA ACTIVIDAD
Procedimiento de muestreo: N/A **Custodia externa:** N/A
Lote N°: ----- **Elaboración:** ----- **Vencimiento:** -----
Toma de muestra: ----- **Fecha ingreso:** 02/09/06; 10:00 AM
Fecha de análisis: 04/09/06 - 10/09/06 **Fecha entrega:** 14/09/06

Análisis	Resultado	Incertidumbre expandida*	Valor Normal**
NMP Coliformes Fecales	15x10 ⁷ / 100 mL	N/A	Máx: 5x10 ³ /100 mL
DBO ₅ (20° C)	2 400 mg/L	N/A	Máx: 50,00 mg/L
----- ULTIMA LINEA -----			

Descripción de la muestra: Líquido turbio, color café oscuro con abundantes partículas en suspensión.

Observaciones: La muestra se recibió en estado de refrigeración en bote plástico y vidrio ámbar
 N/A = No aplica. * k=2 Límite de confianza 95% ** Referencia de valores normales al reverso

Anexo 14. Análisis de Aguas (Efluente del Biodigestor tipo Taiwán)

INFORME DE RESULTADOS No. 1647

Identificación de muestra: AGUA LAGUNA DE CERDOS
Tipo de muestra: AGUA RESIDUAL **Cantidad:** 4 L
Procedencia: ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA EL ZAMORANO
Dirección: EL ZAMORANO, VALLE DEL YEGUARE, CARRETERA DE ORIENTE
Solicitado por: LIZETH ALIAGA
Responsable toma de muestra: LA EMPRESA ES RESPONSABLE DE LA ACTIVIDAD
Procedimiento de muestreo: ----- **Custodia externa:** N/A
Lote N°: ----- **Elaboración:** ----- **Vencimiento:** -----
Toma de muestra: ----- **Fecha ingreso:** 20/09/06; 11:00 AM
Fecha de análisis: 20/09/06 – 25/09/06 **Fecha entrega:** 29/09/06

Análisis	Resultado	Incertidumbre expandida*	Valor Normal**
NMP Coliformes Fecales	15x10 ⁶ /100 mL	N/A	Max: 5x10 ³ /100 mL
DBO ₅ (20 °C)	1 097 mg/L	N/A	Max: 50 mg/L

----- ULTIMA LINEA -----

Descripción de la muestra: Líquido turbio color café, con abundantes partículas en suspensión

Observaciones: La muestra fue recibida en estado de refrigeración, en bote plástico y frasco de Vidrio ámbar.

* k=2 Límite de confianza 95% ** Referencia de valores normales al reverso