PN-ABC-799

DIGESTOR PARA BIOGAS CONSTRUCCION CONVENCIONAL

ESTE DOCUMENTO FORMA PARTE DE UNA SERIE DE INFORMES FINALES SOBRE EL DESARROLLO DE LAS TECNOLOGIAS INVESTIGADAS POR EL PROYECTO DE LEÑA Y FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA, HASTA FINALES DE 1987.

EN UNO DE LOS ANEXOS SE ENCUENTRA LA LISTA COMPLETA DE ESOS INFORMES Y DE OTRAS PUBLICACIONES PREPARADAS POR EL PROYECTO.

ICAITI ESPERA QUE LA INFORMACION PRESENTADA EN ESTOS DOCUMENTOS SEA UTIL PARA LAS PERSONAS INTERESADAS EN UN MEJOR APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGIA.

PN-AEL-799

V6

INSTITUTO CENTROAMERICANO DE INVESTIGACION
Y TECNOLOGIA INDUSTRIAL
- ICAITI -

DIGESTORES PARA BIOGAS: CONSTRUCCION CONVENCIONAL

Informe Técnico Final

Proyecto Leña y Fuentes Alternas de Energía
ICAITI-ROCAP-AID No. 596-0089

1988

PRESENTACION

El INSTITUTO CENTROAMERICANO DE INVESTIGACION Y TECNOLOGIA INDUSTRIAL (ICAITI) es un organismo regional de carácter tecnológico, creado por los cinco Gobiernos de Centroamérica, con la asistencia de las Naciones Unidas, para servir al desarrollo y a la integración económica centroamericana. El ICAITI persigue, entre otros, los siguientes objetivos fundamentales:

Realizar investigaciones tecnológicas para la utilización apropiada de materias primas regionales; desarrollar procesos de fabricación; elaborar nuevos productos y adoptar tecnologías mejoradas.

Desde su fundación en la ciudad de Guatemala, en enero de 1956, el ICAITI funciona como una entidad autónoma, de carácter internacional, no lucrativa, dedicada de lleno a impulsar el fomento del sector industrial de Centroamérica y, por ende, el incremento de su nivel productivo.

Durante los años de 1980 a 1987, el ICAITI llevó a cabo el Proyecto Leña y Fuentes Alternas de Energía, con apoyo financiero de la Oficina Regional para Programas Centroamericanos (ROCAP) de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (AID). Los resultados del Proyecto están resumidos en una serie de informes como éste (ver Anexo A-6). El ICAITI espera que el contenido de esta serie de informes sea útil a los interesados en el uso de las técnicas mejoradas para aprovechar las fuentes renovables de energía.

El ICAITI cuenta con un equipo de técnicos en los siguientes campos: energía, desarrollo de pequeñas industrias y desarrollo industrial en general. Ofrece servicios de información, con acceso a redes computadorizadas internacionales. Puede, asimismo, brindar, tanto a empresas como a instituciones o personas individuales: asistencia técnica, capacitación, evaluación; asesoramiento técnico en producción, normas y control de calidad; estudios de factibilidad, pruebas y análisis, investigación aplicada y otros servicios relacionados con la industria centroamericana.

Más información puede obtenerse directamente en:

ICAITI
Ave. Reforma 1-47
Zona 10
Guatemala, Guatemala

Apartado Postal 1552
Telex: 5312-ICAITI-GU
Cable: ICAITI
Teléfonos: 3106-31/35

INDICE

		Pág.
	RESUMEN	1
1.	ANTECEDENTES	3
2.	INTRODUCCION	5
3.	OBJETIVOS	6
	3.1 Generales	
	3.2 Especificos	
4.	METODOLOGIA	8
	4.1 Antecedentes Generales	
	4.2 Desarrollo del biodigestor	
5.	RESULTADOS	15
	5.1 Resultados obtenidos en biodigestores experimentales	
	5.2 Resultados de campo	
	5.3 Aceptación por parte de los usuarios	
	5.4 Evaluación técnica	
	5.5 Evaluación económica	
	5.6 Evaluación general de las unidades construidas	
	5.7 Otros beneficios de los biodigestores	
	5.8 Difusión de los biodigestores en la región	
6.	CONCLUSIONES	51
7.	RECOMENDACIONES	53
8.	ANEXOS (ver página siguiente)	

ANEXOS

		Pág.
A-1	Bibliografía y referencias	55
A-2	Materiales y Costos del Digestor	56
A-3	Otros sistemas de biodigestión en la región centroamericana.	58
A-4	Costos de combustibles en América Central y su equivalente en biogás	62
A-5	Contrapartes del ICAITI en actividades de la tecnología de biogás	63
A-6	Lista de informes técnicos y otras publicaciones del ICAITI correspondientes al Proyecto Leña y Fuentes Alternas de Energía	68

LISTA DE CUADROS

		Pág.
Cuadro 1	Digestores ICAITI construidos en América Central 1980-1987 por país y tipo de digestor.	11
Cuadro 2	Datos de producción de biogás para tres tipos de estiércol	16
Cuadro 3	Análisis químicos de estiércoles frescos	23
Cuadro 4	Análisis químicos de efluentes de la biodigestión	23
Cuadro 5	Composición química de efluentes parcialmente deshidratados	24
Cuadro 6	Análisis microbiológico de carga y efluente del biodigestor	25
Cuadro 7	Materiales y costos de un biodigestor convencional de 15 m3	27
Cuadro 8	Estado de funcionamiento por tipo de digestor	32
Cuadro 9	Capacidad en metros cúbicos por tipo de digestor	34
Cuadro 10	Estado de funcionamiento por capacidad del digestor	36
Cuadro 11	Relación porcentual de estado de funcionamiento según capacidad	36

LISTA DE ILUSTRACIONES

		Pág.
Ilustración 1	Digestores ICAITI por país	12
Ilustración 2	Biodigestor semicontinuo de desplazamiento horizontal	13
Ilustración 3	Funcionamiento de digestores ICAITI	33
Ilustración 4	Estado de funcionamiento de digestores convencionales	35
Ilustración 5	Problemas en biodigestores no funcionando	38
Ilustración 6	Materia prima utilizada	40
Ilustración 7	Cantidad de materia prima disponible en relación con la capacidad del biodigestor	41
Ilustración 8	Interès original de propietarios	42
Ilustración 9	Usos del biogàs	43
Ilustración 10	Utilización del bioabono	44
Ilustración 11	Aplicación actual del bioabono	45
Ilustración 12	Construcción de digestores de biogàs en Centroamèrica 1976-1986	48
Ilustración 13	Biodigestores circulares chinos	59
Ilustración 14	Biodigestores circulares hindùes	60

RESUMEN

Se adaptó a las condiciones de la región centroamericana un modelo de biodigestor semicontinuo, "de construcción convencional" (de concreto y bloques).

El desarrollo del modelo incluyó: una revisión de diseños provenientes de otros países, una evaluación de las unidades existentes en la región, un estudio de los aspectos teóricos de la fermentación anaeróbica, la realización de modelos experimentales, pruebas de campo y sus respectivas evaluaciones técnicas y económicas.

El biodigestor desarrollado por el ICAITI cuesta alrededor de $CA 800.00*, para el tamaño más común, que tiene una capacidad de 15 m3 y produce hasta 4.5 m3 diarios de biogás. Esto fácilmente podría cubrir las necesidades de combustible para la cocina e iluminación de una familia rural típica. Además, el efluente del digestor puede usarse como abono orgánico, con algunas características químicas mejores que el estiércol crudo, pero con algunos problemas de manejo a causa de su forma líquida (ver informe titulado Aprovechamiento de Efluentes de Biodigestores de esta misma serie).

El proyecto fue dirigido principalmente a agricultores en pequeño. Para tales personas con limitaciones de terreno y poco ganado, la construcción y operación del digestor ICAITI presentan algunas ventajas comparadas con otros diseños de digestores.

Pero, en base a las pruebas realizadas, se considera que es muy difícil encontrar las condiciones específicas necesarias para que la inversión en un biodigestor sea justificada en términos económicos o sociales para agricultores centroamericanos en pequeño. El análisis económico indica que, en condiciones típicas, se requiere alrededor de 50 años para recuperar la inversión hecha en un digestor convencional diseño ICAITI; los costos de operación anuales son casi iguales a los beneficios económicos anuales.

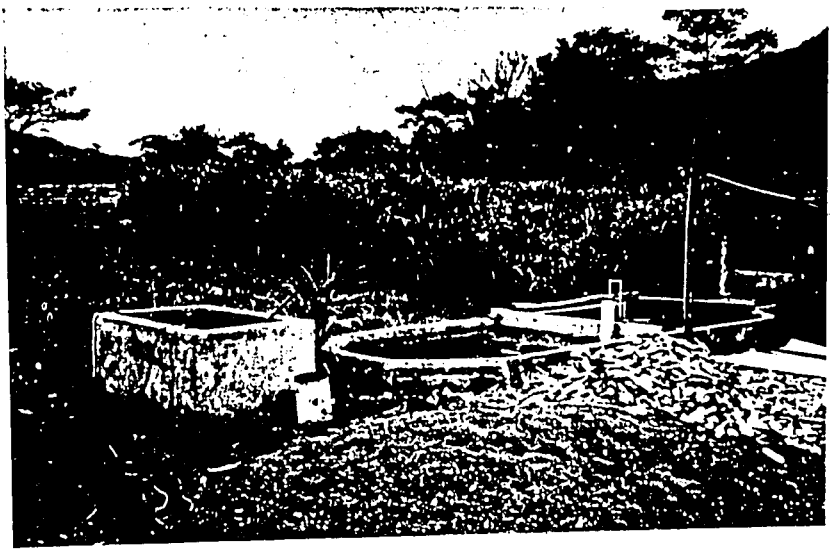
---

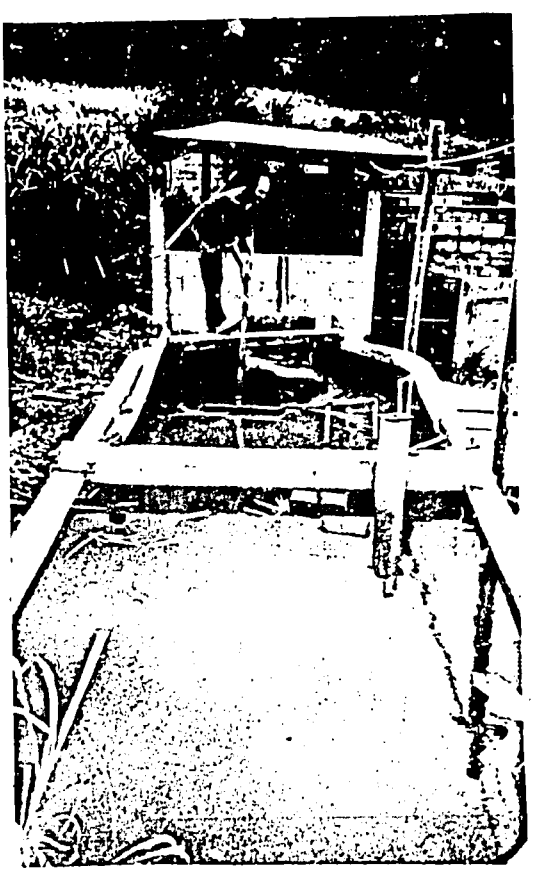
1 $CA = 1 $US

En general, los biodigestores pequeños en América Latina no han tenido gran éxito; la mayoría están sub-utilizados y tienen problemas en su manejo y operación; otros están en desuso. La evaluación de los digestores convencionales del ICAITI reveló que de 54 unidades construidas, solamente 13% operaban en forma excelente y 31% estaban abandonadas. Los dos principales problemas detectados fueron falta de materia prima y falta de interés por parte del usuario de mantener y operar el digestor. Estos problemas podrían ser reducidos mediante una mayor difusión de las limitaciones de los sistemas de biodigestión, la eliminación de subsidios y buen análisis de factibilidad para cada caso.

También se recomienda considerar la biodigestión en cualquier situación donde se esté quemando estiércol por falta de otros combustibles ya que se puede obtener gas sin perder el valor del abono; sin embargo, no se encuentra esta situacion en América Central. La biodigestión podría ser rentable en operaciones más grandes de tipo agroindustrial, en las que se presenten problemas ambientales por falta de una adecuada disposición de desechos orgánicos y en las que paralelamente, exista demanda de energía.

El ICAITI pone a la disposición de la región el beneficio de sus experiencias y conocimientos para evaluar y aprovechar mejor esta fuente alterna de energía.



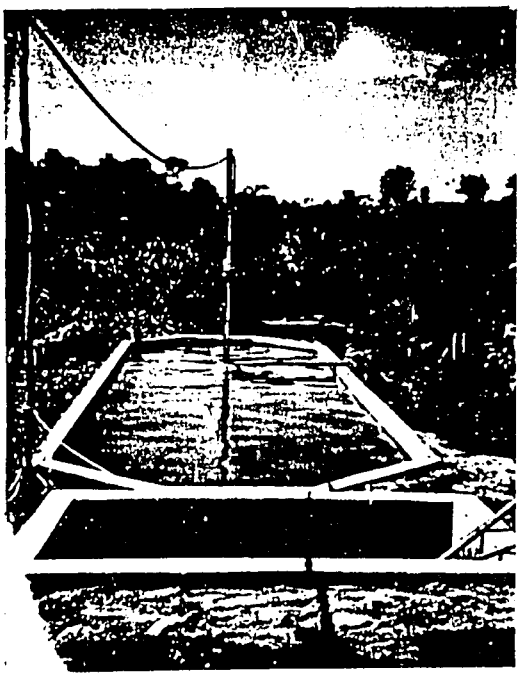


Dos aspectos de un digestor de quince mts. cúb. (Esquipulas, Chiquimula, Guatemala).

En esta instalación el biogás se almacena dentro del digestor; cuando hay mucha producción de biogás el efluente es empujado a la pileta construida sobre el techo.

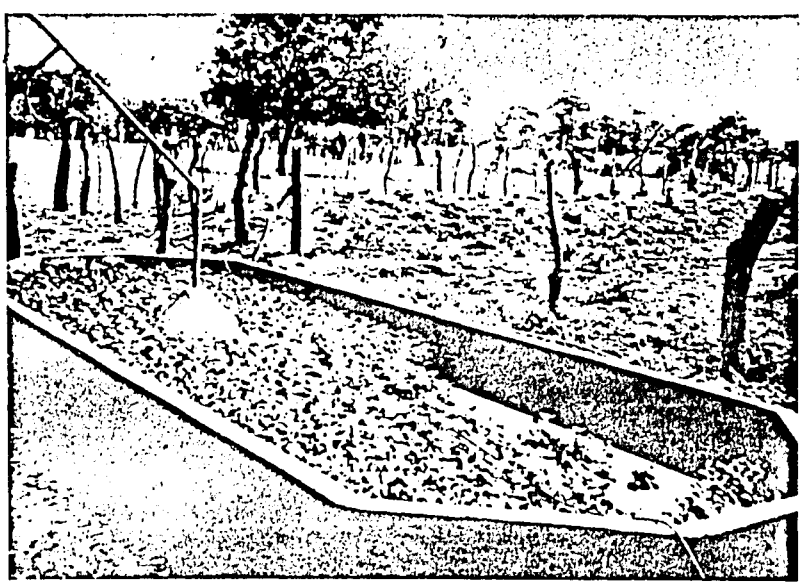
El biogás producido es usado en iluminación, en estufas adaptadas y en motores de combustión interna.

El efluente es aprovechado como abono en los cultivos cercanos al digestor.



Nueva Concepción, Escuintla, Guatemala

Dos unidades del mismo modelo de biodigestor, de 15 mts3 con almacenamiento de gas en depósitos independientes del tanque.



Moyuta, Jutiapa, Guatemala

1. ANTECEDENTES

La población de América Central depende en gran medida de los recursos forestales para satisfacer sus necesidades energéticas; en el año 1984 la biomasa, principalmente la leña, constituyó la fuente del 65% de la energía total consumida en el istmo. Mientras tanto, según se estimó, la cubierta vegetal del bosque denso había quedado reducida al equivalente del 34% del territorio total, debido a la continua destrucción a que ha estado sometida; esta destrucción es tal que, de continuar al mismo ritmo, la hará desaparecer totalmente hacia principios del siglo entrante.

Un 90% de la leña es empleada para cocinar. El 10% restante, se emplea para la producción artesanal y tradicional de artículos como pan, ladrillos y tejas, cal, cerámica, sal, panela, y algunos procesos de secado. Muchas de estas actividades artesanales suelen estar concentradas en zonas geográficas reducidas (por causa de la disponibilidad de materia prima, mercados, etc.) y por su fuerte demanda de leña, son causa de una deforestación localizada.

El 68% de la población total de la región, más de 12 millones de personas, dependen de la leña para cocinar, y de no tomarse medidas drásticas oportunas, se prevee que este gran sector de la población se verá afectado por una aguda escasez de la única fuente energética de que dispone. En la actualidad, las consecuencias de esta escasez pueden apreciarse en el surgimiento de zonas críticas, en las que una familia debe gastar más de la tercera parte de sus ingresos para adquirir la leña que necesita para cocinar.

Ante esta problemática, en septiembre de 1979, el ICAITI y la Oficina Regional para Programas Centroamericanos (ROCAP) de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (AID), celebraron un convenio para la ejecución del proyecto denominado "Leña y Fuentes Alternas de Energía".

Los objetivos generales que se fijaron para el proyecto fueron: experimentación con árboles de crecimiento rápido y patrones para su producción (a cargo del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE), y el desarrollo, la demostración y la diseminación de tecnologías

que permitieran hacer un uso más racional de la leña y aprovechar nuevas fuentes económicas de energía, tales como la energía solar y el biogás (a cargo del ICAITI). Se establecieron como prioritarias las necesidades de las zonas rurales y de las pequeñas industrias.

El proyecto a cargo del ICAITI duró ocho años. En este período, se han probado más de cien aplicaciones de tecnologías, de las cuales se llevaron a fase de demostración unas cincuenta. En una evaluación final, se concluyó que el proyecto ha logrado un gran impacto traducido en el ahorro de 200 000 metros cúbicos de leña, como resultado de la adopción de tecnologías eficientes para el uso de la leña y de tecnologías que la reemplazan por energía solar; también se dió impulso a 400 pequeñas industrias, con la generación de empleos a más de 1500 personas. Alrededor de 13 000 familias se beneficiaron directamente del Proyecto, y fueron innumerables los beneficiados indirectos.

Hay que señalar que el desarrollo de una tecnología responde a factores dinámicos y, por lo tanto, está en continua evolución. Tiene que adaptarse a las necesidades de los usuarios y estas necesidades pueden variar con el tiempo y los inevitables cambios en las condiciones sociales y económicas de las poblaciones. Por lo tanto, no existe una "tecnología apropiada" en sí; lo que se trata de identificar es la mejor solución a un problema, aprovechando los recursos disponibles y dentro del contexto socio-económico del momento.

2. INTRODUCCION

Este informe resume los resultados e implicaciones del trabajo desarrollado por el ICAITI sobre biodigestores construidos con materiales y técnicas de albañilería convencionales. Se designa a este diseño "de construcción convencional" para diferenciarlo de otro diseño de digestor desarrollado y promovido por ICAITI: el digestor de "bajo costo" (ver informe separado).

Las actividades fueron realizadas a lo largo de siete años; no se pretende resumirlas todas en este informe. El propósito del informe es documentar los objetivos que se persiguieron a lo largo del trabajo, la metodología general que se siguió, los resultados que se obtuvieron (técnicos, económicos y de impacto) y formular algunas conclusiones y recomendaciones para trabajos futuros.

Se busca con este informe que el lector tenga una visión general del trabajo realizado por el ICAITI en el área de biodigestores convencionales y que adquiera suficiente información técnica como para poder decidir si le conviene construir y operar un biodigestor. El doble propósito del informe hace que el nivel de detalle sea un punto medio entre un reporte de actividades y un manual técnico. La persona interesada en profundizar más en los temas expuestos puede ponerse en contacto directamente con la División de Servicios Técnicos del ICAITI.

El ICAITI ha preparado los siguientes informes técnicos finales complementarios a éste:

1. APROVECHAMIENTO ENERGETICO DE BIOGAS

2. DIGESTOR PARA BIOGAS-CONSTRUCCION DE BAJO COSTO

3. DIGESTORES ESPECIALES PARA BIOGAS

4. APROVECHAMIENTO DE EFLUENTES DE BIODIGESTORES

También se han publicado manuales e informes sobre los sistemas de biogás investigados durante el curso del proyecto. Ver la lista completa de publicaciones del ICAITI preparadas bajo el Proyecto Leña y Fuentes Alternas de Energía, en el Anexo A.7.

3. OBJETIVOS

3.1 Generales

Se intentó obtener un diseño de biodigestor que fuera fácil de construir, fácil de usar y de amplia aceptación entre los usuarios potenciales. La primer opción considerada fué la adaptación de diseños existentes en otras partes del mundo; entre los que ofrecían buenas posibilidades estaban los sistemas semicontínuos chinos o hindúes, que utilizan excretas animales, y algunos de desplazamiento horizontal como el desarrollado por Fry(*). Algunas unidades de estos modelos ya habían sido construidos en la región (ver Anexo A-3).

Se consideraron las siguientes formas de alcanzar el objetivo general propuesto:

i) Seleccionar entre los diseños existentes el que presentara las mejores posibilidades de adaptación y trabajar directamente en su difusión;

ii) Modificar algunos de estos diseños para facilitar su difusión;

iii) Diseñar un digestor que reuniera las ventajas de los diseños existentes y que fuera óptimamente adaptable a las condiciones de la Región.

Se escogió la última. El proceso de fermentación se mantendría igual en cualquier biodigestor de alimentación semicontinua y se presentaba la posibilidad de reducir la inversión inicial y los costos de mantenimiento.

3.2 Específicos

Los objetivos específicos fueron:

a) Evaluar los diferentes tipos de biodigestor para excretas animales que se describen en la literatura consultada;

(*) Ver Anexo A-1 para Bibliografía y Referencias

b) Evaluar los biodigestores existentes en la región centroamericana, con el propósito de conocer las condiciones de su utilización y los problemas que han encontrado;

c) Sobre estas bases, diseñar un prototipo de digestor que pudiera ser construido masivamente en el área centroamericana, gracias a su bajo costo y facilidad de adaptación; se escogerían técnicas de construcción conocidas por los albañiles y constructores de la región;

d) Construir unidades experimentales siguiendo el diseño desarrollado;

e) Ensayar esas unidades y mejorarlas a lo largo del proyecto;

f) Al disponer de un diseño promisorio, construir unidades demostrativas a escala normal;

g) Vigilar el uso de estas unidades para establecer el índice de aprovechamiento, los rendimientos obtenidos y los principales problemas de su utilización;

h) Complementariamente, analizar el contenido y los efluentes del biodigestor, para contar con referencias químico-biológicas de su eficiencia y su aprovechamiento.

4. METODOLOGIA

Se discuten aspectos metodológicos generales, se presentan los principales parámetros físico-químicos de la biodigestión y se detallan las actividades que llevaron al desarrollo del biodigestor.

4.1 Antecedentes Generales

La digestión anaeróbica es un proceso biológico en el cual la materia orgánica es atacada por bacterias que se desarrollan en ambientes libres de oxígeno, dando como resultado un material degradado de fácil incorporación al suelo y un gas combustible compuesto mayormente de bióxido de carbono y metano. Todos los ingredientes necesarios para esta fermentación están presentes en los estiércoles animales.

Aunque la utilización de biodigestores para la obtención de energía y abonos orgánicos no es reciente, su difusión y aprovechamiento ha estado muy limitada por varios problemas sociales y económicos. Las pocas unidades construidas a la altura de 1980 presentaban muchas dificultades de operación.

La fermentación anaeróbica fue estudiada en Europa hace más de un siglo. Alrededor de 1920, ya Francia y Alemania realizaban estudios formales sobre este proceso; se llegó a diseñar un sistema de biodigestión semicontinuo con cargas y descargas periódicas. En estas primeras unidades, desarrolladas para uso rural, el gas producido era empleado para calentar el mismo sistema de biodigestión.

Otros países también han realizado experiencias sustanciales y sistemáticas en biodigestión. En China y en la India se construyeron unidades diseñadas para las áreas rurales. Algunos países de Latinoamérica, particularmente Brasil, adoptaron los digestores de China y la India. (Ver Anexo A-3 para mayor información sobre estos otros diseños).

En Centro América, las primeras unidades se construyeron en 1953 en Guatemala. Para principios de 1980 existían en este país 17 biodigestores cuyos diseños estaban basados principalmente en los franceses y los chinos. El resto de los países reportaron en ese año entre dos y cuatro unidades cada uno.

Las explotaciones ganaderas parecen ofrecer el mejor campo de aprovechamiento de biodigestores en la región. Cuentan con los desechos necesarios, pueden utilizar el efluente del digestor como abono orgánico directo y disminuir problemas de saneamiento ambiental.

Los usos tradicionales para los desechos animales son:

Estiércol bovino: Se utiliza directamente como abono orgánico; puede contribuir a la propagación de semillas de malas hierbas. Tiene un valor comercial reducido.

Estiércol aviar: Es ampliamente utilizado como abono orgánico por su riqueza en nitrógeno; el que producen las gallinas criadas en áreas abiertas trae materiales de difícil degradación, genera malos olores y ayuda a la proliferación de insectos dañinos. Tiene valor comercial bien establecido.

Estiércol porcino: En las grandes y medianas explotaciones se pasa por una laguna de oxidación, que funciona realmente como laguna de sedimentación. Estas lagunas, bien operadas, funcionan como digestores anaeróbicos, sin intenciones de recolectar el gas producido. Pero casi siempre son manejadas, en forma inadecuada, con la consecuente producción de malos olores e insectos dañinos. Después de cierto tiempo de llenado se drena la parte líquida y queda el sedimiento para ser utilizado como abono orgánico o material de relleno.

4.2 Desarrollo del Biodigestor

Desde que inició sus operaciones en 1957, el ICAITI ha trabajado en fermentación anaeróbica. Se ha recolectado información sobre el tema y se han desarrollado proyectos específicos, entre ellos, "Producción de combustibles a partir de desechos agrícolas, 1978" (ver bibliografía).

Se revisaron los trabajos previos entre mayo y agosto de 1980 para conocer a qué nivel se encontraba la tecnología de biodigestión en Centroamérica y en otras partes del mundo. Paralelamente, se realizó una evaluación de los beneficios y problemas que causa la operación de las unidades construidas.

El conocimiento de los antecedentes y problemas llevó a la conclusión de que era necesario diseñar un nuevo sistema de biodigestión, que reuniera las ventajas de los diferentes modelos, fuera de fácil construcción y de bajo costo de construcción y mantenimiento. Los diseños preliminares se hicieron entre septiembre y octubre de 1980.

Se realizaron pruebas de laboratorio para determinar las propiedades y formas de fermentación de los estiércoles animales. Se estudió el comportamiento de diferentes

materiales de construcción, sometiéndolos a las condiciones que se dan en un biodigestor. Los resultados de estas pruebas sirvieron de base para el diseño del biodigestor experimental.

En diciembre de 1980 se inició la construcción del digestor experimental, de veinte metros cúbicos de capacidad, ubicado en Nueva Concepción, Escuintla, Guatemala. Lamentablemente, el suelo era demasiado arenoso y en ese año el nivel freático subió más de lo normal, causando por erosión el colapso del digestor antes de que fuera cargado. Al reconstruirlo se reforzaron las paredes con concreto armado, lo que duplicó el costo, originalmente de $CA 400.00.

Terminado el digestor, se procedió a cargarlo y se puso en funcionamiento a finales de abril de 1981.

Posteriormente se construyeron otras dos plantas experimentales en Bárcenas, Guatemala. Una era pequeña, de 3 m3 y bajo costo, y la otra industrial, de 70 m3.

Desde entonces se han construido más de cincuenta unidades de los digestores convencionales en toda la región. El Cuadro 1 presenta el número y tipo de digestores ICAITI construidos en cada país, así como los construidos como plantas demostrativas. El cuadro 1 presenta la distribución del total por países. Se puede notar que se construyeron más digestores donde hay más pequeños agricultores.

ICAITI financió la construcción de 15 digestores convencionales como unidades experimentales y demostrativas. Las demás (39) fueron construidas por contrapartes y particulares, la mayoría con asesoría técnica de ICAITI. Se ha reportado que personas individuales e instituciones han construido otros digestores de diseño "convencional", los cuales no están contados aquí porque no fue posible verificar el estado de ellos para este informe.

A través del proceso de diseminación y evaluación se han ido mejorando aspectos de construcción y operación, de manera que el diseño presentado originalmente en el "Manual de Construcción Planta Convencional" es bastante diferente del actual.

Los cambios han facilitado la construcción y la operación y han reducido el costo sin menoscabo de la resistencia estructural. Las paredes, inicialmente inclinadas, son ahora verticales. El techo se cambió de la forma cónica a la plana. Se introdujo la variante de almacenar el gas dentro del mismo biodigestor (Ver Ilustración 2).

CUADRO 1. Digestores de diseño ICAITI construidos en Centroamérica 1980-87
Distribución por país y tipo de digestor

	Convencional	Bajo costo	Otros	Total	Unidades Demostrativas
Guatemala	41	11	2	54	10
Honduras	5	11	-	16	6
Costa Rica	3	1	-	4	2
El Salvador	3	-	-	3	3
Panamá	2	-	-	2	1
Totales	54	23	2	79	22

NOTAS: Solamente se incluyen digestores construidos con participación directa del ICAITI y los digestores construidos por contrapartes para los cuales hubo datos sobre su estado. Se estima que se han construido otros 50-100 digestores tipo ICAITI como efecto multiplicador, principalmente en Guatemala y Honduras.

Unidades demostrativas fueron financiadas por el Proyecto; las otras solamente recibieron asistencia técnica directa y/o indirecta a través de contrapartes.

Digestores ICAITI por país

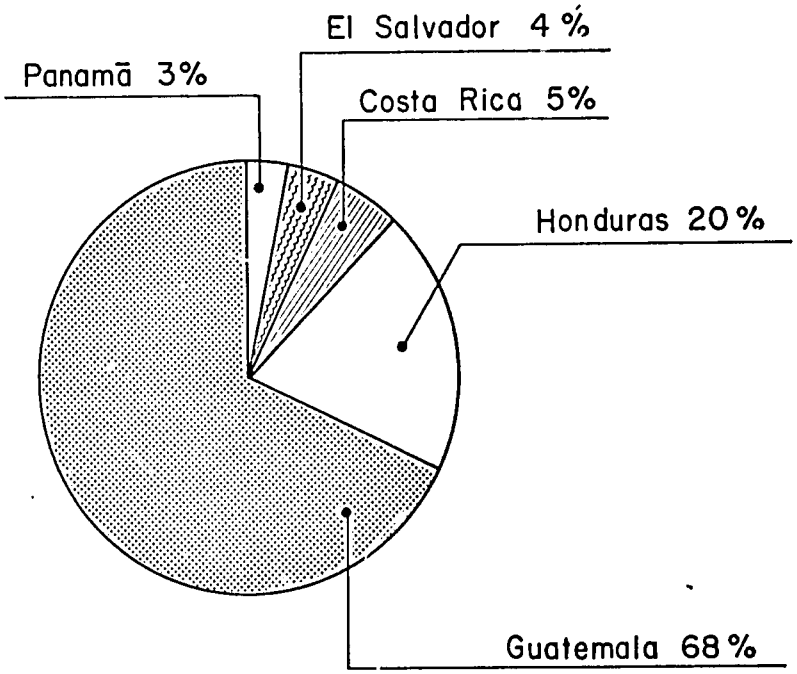


Ilustración I

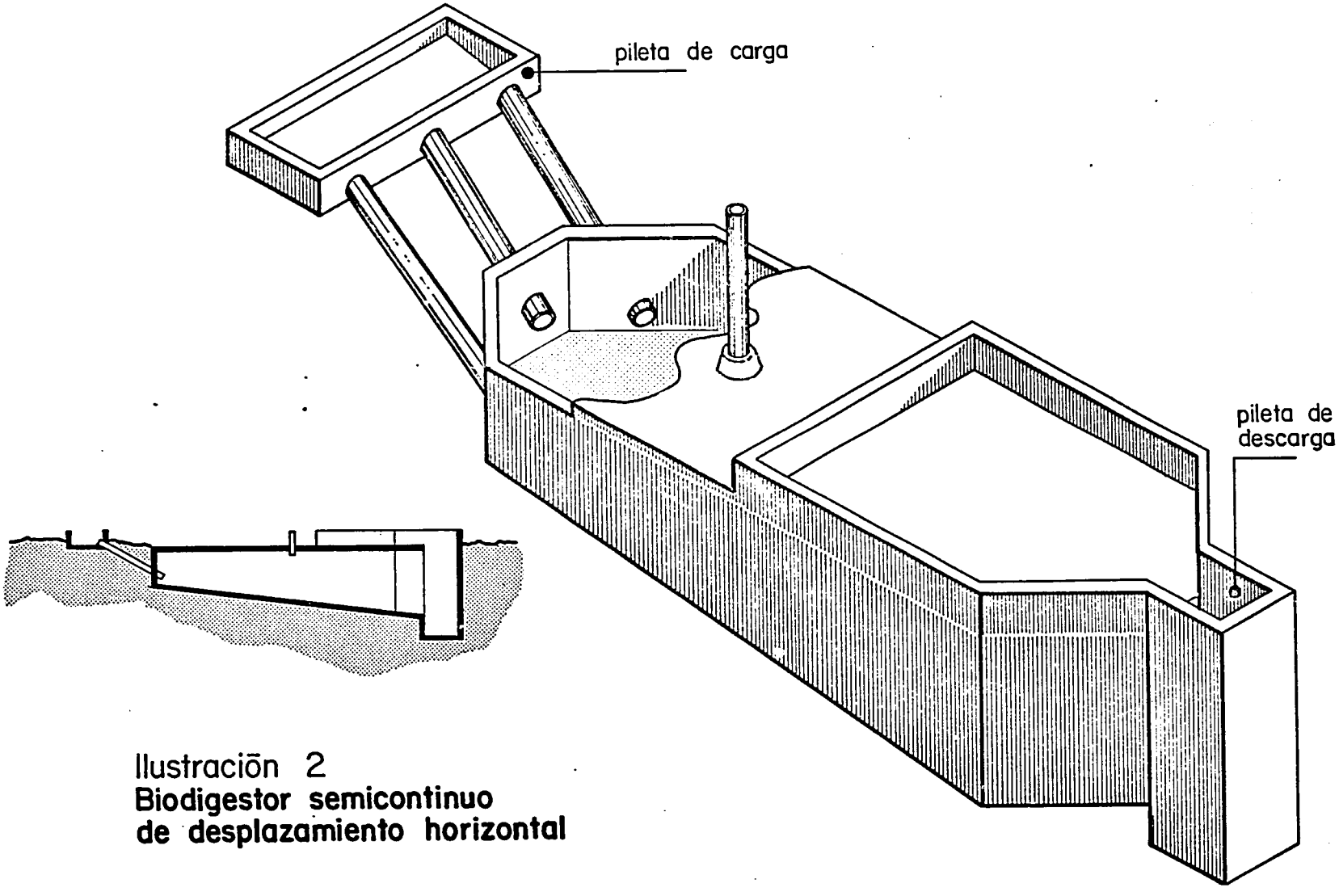


Ilustración 2
Biodigestor semicontinuo de desplazamiento horizontal

Algunos de los aspectos físicos y químicos que intervienen en la construcción y operación de un biodigestor ICAITI son:

a) La mezcla de agua con estiércol deberá tener una concentración total de sólidos entre el 8 y el 10%. Así se evita la formación de sedimentos y la formación excesiva de costras y natas (problemas que ocurren cuando la concentración de sólidos es muy baja).

b) El nivel de la pileta de carga debe ser más alto que el nivel de la pileta de descarga para evitar el rebalse del material por allí. En los sistemas con almacenamiento externo de gas, se expulsa por la pileta de descarga un volumen de efluente igual al volumen de la carga realizada. Cuando no existe presión de gas, el nivel del efluente en la pileta de descarga es igual al que tiene el estiércol en el biodigestor.

c) Existen en el interior de un biodigestor de operación semicontinua zonas con diferentes etapas de fermentación; el grado de fermentación es menor en la zona de carga y mayor en la de descarga.

d) Las excretas bovinas y porcinas no presentan concentraciones críticas de tóxicos para las bacterias metanogénicas; tienen un contenido adecuado de nutrientes para éstas y generalmente sirven como materia prima de los digestores, sin mayores problemas y sin la necesidad de agregar otras materias.

e) La producción de gas es proporcional a la cantidad de sólidos volátiles presentes en los desechos cargados, con excepción de los que conforman ligninas. Una relación de 3.0 Kg de sólidos volátiles por metro cúbico de biodigestor por día es el máximo recomendado para estos sistemas a las temperaturas promedias obtenidas en Guatemala (+/-25 °C).

f) A mayor temperatura ambiente se tendrán mayores velocidades de fermentación. Para la misma cantidad de desechos se pueden utilizar digestores más pequeños en climas de temperatura más elevada.

g) El proceso de bio-degradación y la producción de gas reducen el poder contaminante de los desechos. De desechos iguales biodegradados en diferentes condiciones de operación (temperatura, tiempo de retención, etc.), el que produzca más gas tendrá al final el menor poder contaminante.

5. RESULTADOS

Se presenta en este capítulo una síntesis de los resultados obtenidos en los biodigestores experimentales, la aceptación de los usuarios para el diseño desarrollado, los resultados de evaluaciones técnicas y económicas de los digestores, y una evaluación de la difusión actual y potencial de los digestores en la región.

5.1 Resultados Obtenidos en Biodigestores Experimentales

En el biodigestor instalado en Nueva Concepción, Guatemala, lugar de clima cálido (promedio 28°C situado casi a nivel del mar), se hizo un estudio de las siguientes condiciones de operación:

- Tiempo de retención de los desechos en el digestor;
- Temperatura ambiente;
- Agitación del contenido del digestor;
- Reciclado de una parte del efluente.

Se midió el efecto de esas condiciones sobre la producción de gas y la degradación de los efluentes para establecer cuál combinación de ellas produce el funcionamiento óptimo.

a) Tiempo de retención: Se evaluó un intervalo entre los 15 y los 45 días. A los 15 días se tiene la mayor producción de gas por unidad de tiempo pero el efluente no presenta una buena degradación. (Ver Inciso 5.4 adelante.) A los 25 días se tiene una buena producción de gas y efluentes de buena calidad. Para períodos mayores de 25 días la producción de gas tiende a decaer aunque se mejora la degradación del efluente.

b) Temperatura: El efecto de los cambios de temperatura observado entre el día y la noche, +/- 8 grados centígrados, no afectó la producción instantánea de gas. La temperatura del digestor se mantuvo constante, ya que el tanque estaba bajo tierra. Sí se observó una reducción en la producción de gas cuando ocurrieron lluvias repentinas.

Obviamente la producción de gas de un digestor es menor a menores temperaturas ambientales promedio, pero este efecto no fue medido en el presente trabajo. Asimismo, fluctuaciones mayores de temperatura pudieron afectar el proceso de biodigestión.

c) Agitación: Se ensayó la agitación del sistema a diferentes intervalos regulares de tiempo, desde 1 hasta 6 veces por día. Aparte de un pequeño incremento en la producción de gas en el momento de la agitación, no mejoró la producción total de gas.

d) Efecto del reciclado de una parte del efluente: Se ensayó que un 10% de la carga del digestor fuera del efluente del mismo sistema. Con tiempos de retención de 25 días, no mejoró la producción de gas.

5.2 Resultados de Campo

Se presentan en forma resumida en el Cuadro 2 los resultados obtenidos a nivel de campo correspondiente a la producción de gas con diferentes estiércoles.

CUADRO 2. Características de operación de digestor, para tres tipos de estiércol

Estiércol	Relación carga estiércol: agua	Producción m3 biogás/día	% Metano	Productividad m3 biogás/m3 digestor*día
Bovino	1:1	10	55 - 65	0.333
Porcino	1:1	14	60 - 65	0.466
Aviar	1:2	14	63 - 68	0.466

NOTA: Se utilizaron biodigestores de 30 m3, con 30 días de retención en clima cálido. Todos producen aproximadamente 950 Kg de efluente al día. La productividad fué medida con un márgen de error de +/-0.04 m3 de biogás/m3 de digestor por día.

Para los resultados obtenidos con mezclas de diferentes estiércoles y mezclas de estiércol con desechos vegetales, puede consultarse el folleto de ICAITI "Biogás Informe Técnico".

En base a una gira de revisión a unos 80 digestores tipo ICAITI (incluyendo los de bajo costo), se observaron también datos reales sobre el funcionamiento de unidades demostrativas, los cuales se presentan a continuación:

a) Presiones de trabajo del gas en los diferentes biodigestores construidos: Mínima= 2.5 cm de columna de agua (encontrada en un 22.0% de las observaciones realizadas); Mediana= 10 cm de columna de agua (encontrada en un 65.5% de las observaciones realizadas); Máxima= 100 cm de columna de agua (encontrada en un 12.5% de las observaciones realizadas).

b) Máxima distancia entre el biodigestor y el lugar de uso del biogás: 500 metros.

c) Tiempo transcurrido entre la carga y el inicio de la producción de biogás:

Mínimo: 1 día
Normal: 7 días
Máximo: 40 días

d) Limpieza de la unidad, mediante un vaciado total para remover los sedimientos:

Intervalo mínimo observado:	cada año	(5%)
normal programado:	cada 3 - 4 años	(90%)

5.3 Aceptación por parte de los Usuarios

La aceptación ha sido mayor cuando puede aprovecharse integralmente el digestor; es decir, obtener beneficios reales del biogás, del bioabono y del saneamiento ambiental. Desafortunadamente, son pocos los casos en que se aprovecha bien el sistema integral.

Se encontró que los siguientes factores favorecen la aceptación de las unidades por sus usuarios:

a) La carga de los desechos puede realizarse por gravedad o sin necesidad de trabajo especial, ni contacto directo con los mismos;

b) Los usuarios conocen algunos de los principios sobre los que se basa el sistema y están en capacidad de resolver pequeños problemas como descubrir y reparar fugas, cambiar válvulas, etc.; y

c) Existe mucha necesidad de los beneficios del digestor.

Entre los factores, que tienen relación con problemas en los digestores están los siguientes:

a) Varias familias comparten el gas y los efluentes pero no todas cooperan con el mantenimiento, ni saben cómo hacerlo;

b) Los usuarios no entienden la tecnología y esperan más de lo que ésta puede dar;

c) La unidad ha sido regalada al usuario;

d) Solamente se aprovecha uno de los productos del digestor (el gas, por ejemplo) y los demás no (saneamiento ambiental y/o bioabono).

e) La carga es difícil y laboriosa; y

f) No hay beneficios económicos tangibles que estimulen al usuario para que opere y mantenga el sistema.

5.4 Evaluación Técnica

Esta sección se divide en dos partes: Una trata de las ventajas y desventajas técnicas del biodigestor ICAITI convencional y la otra, de las características de los productos de la biodigestión.

5.4.1 Aspectos Técnicos de los Biodigestores

Los datos del Cuadro 2 pueden tomarse como base para cálculos aproximados de productividad de los biodigestores. Los mismos resultados se obtendrían con otros diseños de biodigestores de alimentación continua, como el hindú, el de media bolsa y el de bolsa entera (Ver Anexo A-3), si se operaran en condiciones semejantes. La producción en el sistema chino sería un poco menor, por la separación de fase interna (líquidos-lodos) que este sistema promueve y que da como resultado tiempos de retención diferentes para cada fase (de ahí tiene el inconveniente de que es necesario limpiarlo totalmente cada 6-10 meses, aunque ésta característica facilita el trabajo cuando se fermenten mezclas de estiércoles con desechos vegetales).

En general, puede decirse que en los aspectos técnicos de la fermentación, el biodigestor ICAITI convencional es similar a otros biodigestores. Se considera que el diseño ICAITI convencional tiene las siguientes características ventajosas:

a) Facilidad de construcción con materiales y mano de obra disponibles en los mercados de la región; el Anexo A-2 presenta las listas de materiales y costos.

b) El diseño del digestor facilita las operaciones de limpieza, y éstas sólo son necesarias de vez en cuando;

c) Larga vida útil;

d) Degradación homogénea de los materiales;

e) Robusta estructura física, que representa un buen aislamiento térmico, y conserva casi constante la temperatura interna.

Como problemas principales que se han encontrado con los digestores, se pueden mencionar los siguientes:

a) Dificultades para el almacenamiento del gas: Es el problema más común. Se probaron sistemas con tanques flotantes de metal o fibra de vidrio, pero se descartaron por sus altos costos de fabricación y mantenimiento. Se han probado bolsas especiales de tela encauchada, pero se encontró que al poco tiempo de uso se deterioran o resultan dañadas por insectos; y que no hay bastantes fabricantes de bolsas en la mayoría de los países.

Cuando se intenta almacenar el gas dentro del mismo digestor, surgen otros problemas, principalmente fugas, presion variable, y falta de control del nivel del líquido dentro del digestor. Se concluye que todavía falta encontrar un sistema barato, sencillo y apropiado para almacenar gas en pequeñas aplicaciones de biodigestión (también ver punto (e) abajo).

b) Falta de supervisión y asistencia técnicas: Muchos sistemas de biodigestión han sufrido problemas, de mala ubicación, inadecuado diseño, errónea selección de beneficiario/usuario, construcción deficiente, mal mantenimiento y operación; todos relacionados con una falta de asistencia técnica adecuada y disponible localmente. Relacionado con esto está el manejo inadecuado del bioabono y la falta de reparaciones ó de correcciones en la operación del sistema, todo por falta de apoyo técnico.

También, muchos accesorios (lámparas, motores) han tenido problemas de funcionamiento, por malas adaptaciones y falta de mantenimiento. Mientras que las soluciones para estos problemas existen (en ICAITI por ejemplo), los costos de proveer asistencia técnica en áreas rurales son altos y los pequeños agricultores que más lo necesitan no pueden pagarlos y generalmente no saben dónde conseguirlos gratis.

ICAITI ha encontrado que se necesita mucho seguimiento para estos sistemas y que representa un costo importante, aunque casi nunca aparece en los diferentes análisis de los biodigestores y sus costos. Finalmente, cuando se analizaron los biodigestores que no estaban funcionando, en casi todos los casos se halló como la causa predominante una inadecuada planificación y selección del sitio.

c) Sedimentos indeseables: Este es un problema que ocurre donde no hay establos con piso y donde se limpian los establos directamente hacia el digestor sin ningún dispositivo para quitar la arena y grava de la materia orgánica (trampa de sedimentación).

En estos sistemas es conveniente realizar una limpieza el digestor más frecuentemente, para no perder una porción significativa de su capacidad de operación.

d) Costra/agitador: ICAITI diseñó un agitador para romper la costra o nata, formado por una soga que corre desde la pileta de entrada hasta la pileta de salida, conectada a un bloque flotante adentro del digestor. Este agitador se daña después de poco tiempo de uso, representando un costo adicional, por lo tanto, ICAITI recomienda que se evite el problema lo más posible mediante un manejo correcto del sistema: cargar el digestor diariamente, sin falta, cuando el estiércol aún es fresco; usar un mínimo de agua en la mezcla (el contenido de sólidos debe ser alrededor del 10%); dejar entrar la mezcla solamente cuando ya ha sido bien batida y homogenizada (no dejar entrar agua casi pura y estiércol casi puro por separado); y mantener el nivel de líquido adecuado dentro del digestor. Siguiendo estas recomendaciones, los problemas de la costra deben de ser mínimos.

e) Nivel del contenido (problema del almacenamiento interno): Cuando se usa un sistema externo de almacenamiento de gas, se puede manejar el sistema en el mismo estilo de los digestores hindúes en los que la carga automáticamente empuja un volumen igual afuera del digestor. Sin embargo, los sistemas de almacenamiento de gas externo son muy caros o problemáticos, tal como se discutió arriba.

Por eso, la gran mayoría de los digestores ICAITI utilizan almacenamiento interno del gas. Con este sistema, el nivel del contenido depende tanto de la presión del gas como del volumen del líquido: cuanto más alta sea la presión, el nivel en las piletas de carga y descarga subirán más.

En esta situación hay varias desventajas; la capacidad operacional interna es reducida; se exponen a la intemperie líquidos mal digeridos que pierden su valor como abono y también se pierde parte del beneficio del saneamiento ambiental (por los olores, etc.).

Además, se hace necesaria una tediosa labor de descargar manualmente cierto volumen del líquido para mantener el nivel correcto; la mayoría de los usuarios no hacen lo último por lo laborioso que es, y por la dificultad de medir las cantidades de carga y descarga en forma exacta. Como resultado, se dan problemas adicionales (los mismos que son comunes en cualquier digestor rígido con almacenamiento interno, como los

chinos por ejemplo). En primer lugar, al subir el nivel del líquido, se obstruye la salida del gas; entonces para evitar eso, algunos operadores hacen funcionar al digestor a una fracción de su capacidad, con lo que se reduce la producción de gas y se produce una incompleta digestión de la materia. Otros operadores, han establecido una salida automática de líquido, que además de causar los mismos inconvenientes, resulta en el almacenamiento de gas inútil dentro del digestor, ya que no hay suficiente material líquido en la pileta de descarga para empujar el gas hacia el punto de uso.

Cuando no han usado una salida automática, se provocan fugas de gas en todas partes del sistema, a causa de aumento de la presión del gas, especialmente cuando no se está usando éste.

Finalmente, se dificulta el uso controlado del biogás, ya que su presión es variable.

f) Aprovechamiento inadecuado del bioabono: Se cubre este aspecto en detalle en otro informe de esta misma serie (Ver Anexo A-7). Las conclusiones de varias pruebas indican que: 1) El bioabono en general no está bien aprovechado, lo cual podría causar un gasto en vez de un beneficio si los desechos eran mejor aprovechados antes de usar el digestor; 2) el buen manejo del bioabono implica costos adicionales altos, difíciles de recuperar a corto plazo, y que generalmente no se toman en cuenta antes de iniciar el proyecto; 3) el bioabono no debe ser considerado como sustituto de abono químico, y 4) no se obtiene un beneficio económico significativo por ahorros de fertilizante químico ni por mayores rendimientos, al menos en los primeros años del uso de bioabono.

Hay que señalar que estos problemas son genéricos para las tecnologías de la digestión a pequeña escala.

5.4.2 Aprovechamiento de biogás:

La capacidad del biogás para sustitución de otros combustibles es hasta del 100% en los casos de leña, propano y gasolina en estufas, lámparas y motores estacionarios. En motores diesel es solamente del 50%. La principal limitante del uso del biogás es la imposibilidad económica de almacenar la producción de gas de varios días o su transporte a los lugares de utilización. Por lo tanto, el biogás es más apropiado para cubrir una demanda cerca del digestor que sea pequeña pero constante (o sea, parecida a la tasa de producción de biogás).

El Anexo A-4 muestra los costos de los diferentes combustibles en Centroamérica y su equivalencia a biogás en poder calórico. En informes separados se hace un análisis más profundo del aprovechamiento del biogás (Anexo A-7).

5.4.3 Análisis de Laboratorio con Efluente

A continuación se presentan los resultados de los diferentes análisis de laboratorio efectuados para cuantificar las características del efluente de los biodigestores de diseño ICAITI.

El Cuadro 3 presenta el análisis químico de los estiércoles bovino y aviar. La cantidad de sólidos totales determina la cantidad de agua que es necesario agregar para lograr la concentración adecuada para cargar el biodigestor. Los sólidos volátiles indican la parte del estiércol que realmente participa en la producción de gas. Se recomienda que la carga no exceda los 3.0 kg de sólidos volátiles por metro cúbico de digestor por día.

Los otros parámetros se analizaron para ver si sus niveles podrían resultar tóxicos a las bacterias fermentadoras.

El Cuadro 4 muestra los resultados de los análisis químicos efectuados a los efluentes de los biodigestores operados con estiércoles bovino y aviar. La comparación de sólidos totales y volátiles entre efluentes y carga indica si el grado de fermentación es adecuado; puede tomarse como buena si el porcentaje de sólidos volátiles finales dividido entre el porcentaje de sólidos volátiles iniciales es alrededor de 0.85. Si este índice es demasiado alto, la fermentación es incompleta; si es demasiado bajo puede indicar la existencia de sedimentación de lodos y separación de fases en el interior del digestor o bien subutilización de la capacidad instalada. En las muestras presentadas se nota que el efluente de bovino no ha sido aprovechado hasta el punto óptimo, pero el aviar sí.

Se analizaron otros elementos para conocer el potencial nutritivo de los efluentes como abono orgánico o como alimento animal.

El Cuadro 5 presenta los análisis realizados en efluentes parcialmente deshidratados por exposición al sol. Este proceso se realiza para facilitar su transporte a grandes distancias. En términos de los nutrientes, no es recomendable secar el bioabono, porque se pierde alrededor del 50% de su valor como fertilizante.

CUADRO 3 Análisis químicos de estiércoles frescos de animales

Descripción	Estiércol bovino	Estiércol aviar
Sólidos totales	16.38 %	19.27 %
Sólidos volátiles	82.47 %	73.40 %
Nitrógeno total (N)	1.88 %	·3.25 %
Fósforo (como P205)	0.26 %	
Potasio (K20)	0.22 %	
Magnesio (MgO)	0.11 %	
pH	6.9	

Método: AOAC 14th Ed.

CUADRO 4 Análisis químicos de efluentes de la biodigestión

Descripción	Estiércol bovino	Estiércol aviar *
Sólidos totales (%)	7.9	9.42
Sólidos volátiles (% de ST)	75.7	59.00
Nitrógeno total (%N)	1.74	3.10
Fósforo % (como P205)	0.12	
Potasio % (como K205)	0.28	
Magnesio % (como MgO)	0.06	
Calcio % (como CaO)	0.27	
Hierro % (como Fe)	0.015	
Sodio % (como Na)	0.011	
Manganeso (como Mn)	18.0 ppm	
Cobre (como Cu)	1.3 ppm	
Azufre (como S04)	Negativo	
Zinc (como Zn)	3.5 mg/Kg	
pH	7.2	

*Dilución de la carga: 2 partes de agua por una de estiércol. Las otras son 1:1.

Método AOAC, 14th Ed. Análisis de nutrientes en base seca.

CUADRO 5 Composición química de efluentes parcialmente deshidratados por exposición al sol.

Composición química %		Porcino	Aviar	Bovino
Humedad (%)	*	12.21	13.53	9.83
Grasa (%)	*	0.85	0.63	1.26
Proteínas (N x 6.25) (%)	*	17.55	14.46	13.60
Fibra cruda (%)	*	27.10	9.74	12.30
Cenizas (%)	*	22.86	51.11	35.13
Carbohidratos(por diferencia) (%)	*	19.43	10.53	27.88
Nitrógeno total (como N) (%)	*	2.83	2.30	2.18
Calcio (Ca) (%)	**	6.95	10.25	0.85
Fósforo (P20) (%)	**	5.35	3.40	0.60
Potasio (K20) (%)	**	0.50	0.53	0.30
Hierro (Fe) (%)	**	0.44	0.65	0.53
Manganeso (Mn) (%)	**	0.06	0.06	0.02
Zinc (Zn) (%)	**	0.09	0.05	0.02
Sílice (Si02) (%)	**	7.2	12.66	28.35
Arsénico (As) (%)	**		No se halló	
Plomo (Pb) (mg/kg)	**	7.0	10.0	6.00
Cobre (Cu) (mg/kg)	**	490.00	40.00	23.00

* Método: AOAC 14th Ed. (Análisis proximal)
** Método: Espectrofotometría de absorción atómica (minerales). Determinaciones en duplicado.

El Cuadro 6 presenta los resultados de eliminación de patógenos a través de la fermentación anaeróbica. La comparación de las cantidades que entran con las que salen muestra un buen porcentaje de reducción del poder infeccioso de estos desechos.

ICAITI ha preparado informes específicos sobre el uso de efluentes de biodigestores y el uso de biogás en diferentes aplicaciones (cocinas, lámparas, motores, calentadores, refrigeración, etc.) Ver Anexo A-7, para una lista completa de informes.

CUADRO 6 Análisis microbiológico de carga y efluente del biodigestor

Descripción	En la carga	En el efluente	% de reducción
Coliformes, número más probable por 100 ml de muestra	280,000,000	24,000,000	91.4 %
Escherichia coli, número más probable en 100 ml de muestra	43,000,000	9,300,000	78.4 %
Presencia de *Salmonella* en 100 ml de muestra	Negativo	Negativo	-

NOTAS: Las muestras fueron tomadas en bolsas Whirl-Pak y transportadas en baño de hielo.

Análisis realizados en el biodigestor experimental de Nueva Concepción, funcionando con estiércol bovino, a 30 días de tiempo de retención, temperatura cálida de zona costera.

Métodos para coliformes: International Standards for Drinking Water, 1971. Tercera Edición. World Health Organization, Ginebra.

Para Salmonella: Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods. Marvin L. Speck, Editor. American Public Association. Washington, D. C.

5.5 Evaluación Económica

Los beneficios de la biodigestión deben evaluarse integralmente. Sin embargo, es difícil realizar una evaluación económica por la gran variación que existe entre las diferentes aplicaciones de la tecnología.

Los beneficios del biogás son equivalentes al combustible sustituido. Lo mismo ocurriría con el bioabono, en la medida que sustituye fertilizante comprado y/o incrementa el rendimiento de los cultivos. En el caso del saneamiento ambiental, un digestor genera beneficios económicos en la medida en que evita prácticas de disposición forzosa de desechos.

La evaluación se realiza tomando como base un biodigestor convencional de 15 metros cúbicos de capacidad, con almacenamiento de gas interno, cargado por gravedad con estiércol bovino.

Se asume que el biogás sustituye leña comprada para cocinar alimentos y sustituye las velas para iluminación; los efluentes se usan como abono orgánico de pastos y hortalizas. Primero se evaluan las inversiones necesarias y los costos de operación. Después se calcula el valor de los beneficios, para llegar a conclusiones.

5.5.1 Inversión

El Cuadro 7 presenta los materiales de construcción necesarios para un biodigestor de 15 m3. Además de los materiales, se incluye el costo de mano de obra y supervisión ($CA 280.00). También se toma en cuenta una inversión de $CA 15.00 en la construcción de la red de distribución de gas; el valor de dos estufas de 3 quemadores cada una: $CA 48.00; y dos lámparas para biogás: $CA 40.00; o sean otros $CA 103.00 adicionales para los accesorios del uso de biogás (ver anexo A-2).

Además, si se construye el digestor en una zona rural de acceso limitado, habrá un costo de transportación que podría resultar significativo. En este cálculo, se adopta un costo de $CA 40.00 para este rubro. Para cargar el digestor por gravedad se requiere de inversión para modificar o construir un establo con piso y canales para facilitar la recolección del estiércol. Este gasto es muy variable, dependiendo de la situación inicial, ubicación relativa, y otros factores. Aquí se supone una inversión adicional de $CA 50.00 para las modificaciones necesarias. Luego, la inversión total es $CA 827.03.

CUADRO 7 Materiales y costos de construcción de un biodigestor de 15 M3. Modelo convencional

Cantidad	Material y/o equipo	En $CA Costo unitario	Costo total
30	Sacos de cemento	$CA 1.76	52.80
5	m3 de arena de rio	3.20	16.00
3	m3 de piedra triturada 1/2"	5.20	15.60
400	Blocks de cemento de 10 x 20 x 40 cm	0.12	48.00
3.5	Quintales (45.35 Kg) de hierro de 3/8"	9.74	34.09
1	Quintal (45.35 Kg) de hierro de 1/4"	11.18	11.18
25	Libras de alambre de amarre	0.18	4.50
60	Tablas de pino de 1" x8" x8'	1.168	70.08
36	Parales de pino de 2" x3" x8'	0.97	34.92
10	Libras de clave de 2 1/2"	0.18	1.80
4	Tubos de cemento de 6"	1.10	4.40
25	Metros soga de nylon de 1/2"	0.22	5.50
1	Tubo HG (3/4") x 60 cm	0.40	0.40
1	Llave de paso de 3/4"	1.60	1.60
	Subtotal		300.87
	Imprevistos (10%)		30.00
	Total		330.87
	Impuestos (7%)		23.16
	Sub-total Materiales		354.03
	Mano de obra: (1 albañil y 2 ayudantes durante 35 dias)		280.00
	Asesorias para uso de biogás (estimación)		103.00
	Transporte de materiales (muy variable; estimación)		40.00
	Modificaciones al establo para permitir carga por gravedad (muy variable: estimación)		50.00
	TOTAL DE COSTOS PARA UNIDAD	$CA	827.03

NOTA: Precios y Salarios a Marzo de 1987, Guatemala.
1 $CA = 2.5 Quetzal

5.5.2 Costos de Operación

Provienen de la carga y descarga diaria y del mantenimiento. El tiempo total requerido para la carga y descarga de un biodigestor de 15 m3 es de 2 horas-hombre/día (si funciona bien el sistema de carga por gravedad). La recolección del estiércol es la actividad que consume la mayor parte del tiempo. Si el biodigestor está ubicado convenientemente para su carga por gravedad, la mano de obra sería prácticamente la misma que la requerida para efectuar la limpieza normal de los establos cuando no existe el biodigestor. Además, cuando un agricultor utiliza el estiércol para abonar la tierra, de igual forma debe recolectarlo y esparcirlo, pero en este caso, se podría realizar un trabajo mucho más eficiente porque no tiene que hacerse cada mañana cuando el estiércol es fresco (como es el caso con el digestor); dejar secar el estiércol facilita mucho su manejo. Con el digestor, es importante recolectar el estiércol fresco y mojado. También hay un costo adicional que puede ser significativo, relacionado con el manejo del bioabono líquido. Por lo tanto, se incluye un costo estimado en $CA 50 por año para la carga y descarga del biodigestor.

El mantenimiento consiste en el reemplazo de tubería, reemplazo de válvulas, mantenimiento de tuberías para el gas (reparar fugas, trampas de agua) mantenimiento de lámparas (limpieza y compra de "camisas") y limpieza total de la unidad. El tipo de material de que está hecha la tubería y su exposición a los elementos influyen marcadamente en su vida útil. La experiencia indica que ésta puede exceder los cinco años. Las válvulas de PVC no son atacadas por el biogás. Sin embargo, se encuentra comúnmente la necesidad de cambiar una de ellas por año, a un costo de $CA 2.00. Se supone un costo promedio de mantenimiento del sistema de gas de $CA 50.00 cada cinco años ($CA 10.00 anuales).

Si los desechos fueran puros, este sistema en operación continua no requeriría limpieza. Sin embargo, la experiencia aconseja remover los lodos sedimentados cada tres o cuatro años (o más frecuentemente, si la carga contiene muchas impurezas inorgánicas). En un digestor de 15 m3 esta operación puede ser realizada por tres personas en una semana de trabajo. A este período se le debe agregar el de recarga e inicio de la fermentación cuando no hay producción de gas, por lo que a los beneficios se deduce un mes cada cuatro años.

Los costos de la limpieza de la unidad (3 hombres por 7 días a $CA 1.40 el día) son de $CA 29.40. Durante el período de limpieza debe comprarse un combustible sustituto, cuyo valor se estima en $CA 14.80, por lo que el costo total de la limpieza es de $CA 44.20 cada cuatro años (promedio de 11.05/año).

En resumen, los costos de operación y mantenimiento son:

- Operación	50.00
- Materiales/reparaciones	10.00
- Limpieza	11.05
Costo Total estimado de operación y mantenimiento anual	$CA71.05

5.5.3 Beneficios del Sistema:

a) Valor del biogás: En condiciones normales, el biodigestor que se tomó como referencia produce 4.5 m3 de biogás diariamente. En el presente análisis, una parte se usa en sustitución de leña para cocinar alimentos y el resto, en lámparas, sustituyendo velas de parafina. Suponiendo que la familia compra leña a un precio de $CA6.00/m3 y que gasta 1 m3 por mes:

- Consumo de biogás para cocinar por día por familia típica	= 2 m3
- Consumo de una lámpara de biogás, por hora de funcionamiento	= 0.125 m3
- Ahorro de leña	= $CA 6.00/mes
- Ahorro de velas de parafina	= $CA 1.40/mes
Ahorro total	$CA 7.40/mes

Estos cálculos se basan en la suposición de que la familia realmente está comprando leña (algo que no es común en áreas rurales) y que el biogás sustituye 100% la leña (algo raro en la práctica ya que hay muchas costumbres y comidas especiales que exigen cocinar con leña).

b) Valor de bioabono: El biodigestor puede producir mensualmente unas 15 TM de efluente. Sin embargo, los estudios realizados por ICAITI con respecto al efluente indican que no se debe utilizar como sustituto del fertilizante químico (ver informe: "Aprovechamiento de efluentes de digestores"). Además es imposible estimar la diferencia en el valor del bioabono en comparación con el estiércol sin degradar; los análisis realizados sugieren que el valor nutritivo del efluente es similar al del estiércol sin degradar. (N-P-K para estiércol= 1.88-0.26-0.22; N-P-K para efluente = 1.74-0.12-0.28). Los especialistas agrícolas consultados indicaron que los nutrientes del bioabono están disponibles más fácilmente que los del estiércol pero el beneficio al cultivo que pudiera resultar no ha sido confirmado ni

cuantificado. Una serie de experimentos independientes no encontraron mejora significativa (estadísticamente al 5%) por usar bioabono (informe ya citado). Por todo lo expuesto, no se puede calcular ningún beneficio económico por el uso del bioabono.

c) Otros beneficios: La utilización de biodigestores mejora el ambiente sanitario de los usuarios, eliminando olores e insectos. Sin embargo, no se puede asignar ningún valor económico a este beneficio en nuestro cálculo, porque esto no representa algo cuantificable para el pequeño agricultor.

- Beneficios totales/año ($CACA 7.40/mes)	$CA 86.95
- Costos de operación/año	= $CA 71.05
- Beneficio neto anual	= $CA 15.90
- Periodo de recuperación de la inversión = 827.03/15.90	= 52 años

Por supuesto, un análisis de este tipo esta sujeto a las suposiciones puestas. Por ejemplo, antes de estudiar los casos reales del campo, utilizando suposiciones diferentes, se había calculado que los costos de este tipo de digestor se recuperarían en un periodo menor de 5 años; pero las estimaciones utilizadas no representan la realidad. El presente análisis es todavía optimista por asumir que: i) la familia compra toda su leña; ii) el biogás sustituye 100% la leña y las velas; y iii) los costos de operación y mantenimiento son bajos. Es importante notar que si no fuera el caso así, <u>los costos de operación anuales serían mayores que los beneficios.</u>

Los biodigestores no representan buena inversión para la mayoría de los agricultores en pequeño. La situación es diferente cuando se trata de sistemas industriales, pero hay que analizar con cuidado cada caso específico.

El resultado de este análisis está conforme con lo que se ha encontrado en el campo cuando se han hecho revisiones independientes, de los usuarios de digestores de todo tipo en pequeñas fincas; no es un problema relacionado tanto con el diseño del digestor, sino, con la tecnología en general aplicada a este nivel. Los digestores siguen siendo construidos como respuesta a programas de promoción, subsidios y facilidades de crédito. Sería conveniente que las organizaciones que han participado en estos programas revisen sus estimaciones de costos y beneficios para asegurar que se realizan las mejores inversiones posibles con los fondos disponibles.

5.6 Evaluación General de las Unidades Construidas

5.6.1 Estado de funcionamiento

Durante enero y febrero de 1987 se hizo una encuesta mediante visitas de evaluación a las 80 unidades de biodigestión tipo ICAITI que se habían reportado al Instituto en la región centroamericana. Los resultados obtenidos se muestran gráficamente desde la Ilustración 2 hasta la 11.

El Cuadro 8 y la Ilustración 3 presentan el estado actual de 79 biodigestores construidos por ICAITI para los cuales hubo datos de seguimiento en 1987. Estos datos toman en consideración todos los digestores incluyendo los convencionales y los de bajo costo. Se califican en situación "buena" (10%) aquéllos que están produciendo todos sus beneficios tal como fue previsto, sin mayores problemas o costos adicionales. Se califican "parcialmente" (35%) aquellas unidades que estan funcionando pero con problemas y cuyos beneficios son subaprovechados. Se califican "no funciona" (43%) a los que no están en operación regular. También había unidades en construcción (12%), algunas de las cuales están en este estado desde hace varios años.

Al excluir a las unidades en construcción, la calificación de las unidades sería:

- Funcionando bien 11%
- Funcionando parcialmente 40%
- No funciona 49%

5.6.2 Estado de funcionamiento según tipo de digestor

Como se puede ver en el Cuadro 8, casi todos los digestores que están funcionando bien, son digestores convencionales. Si analizamos estos digestores por separado se encuentra un 69% en uso y/o construcción (bastante mayor que el promedio total) y un 31% que no estaban funcionando regularmente en el momento de la encuesta (Ver Ilustración 4). El digestor convencional y el digestor de bajo costo tienen un diseño básico similar pero el primero cuesta más que el segundo. Se utiliza el convencional para aplicaciones más grandes, (mayores de 10 m3 capacidad del digestor) mientras que se utiliza el digestor de bajo costo para aplicaciones muy pequeñas (generalmente menos de 10 m3). Esta situación se presenta en el Cuadro 9 donde se puede apreciar que el 96% de los digestores de bajo costo son de 10 m3 o menos, mientras que el 98% de los convencionales tienen entre 11-100 m3 de

capacidad. También se puede apreciar que, a pesar de tener un costo mayor, se ha difundido mucho más el digestor convencional que el de bajo costo.

En los Cuadros 10 y 11 se analiza con más detalle la relación entre el tamaño del biodigestor y su estado de funcionamiento. Se nota que ningún digestor de menos de 9 m3 estaba funcionando regularmente cuando se realizó la encuesta.

CUADRO 8 Digestores ICAITI construidos en América Central 1980-87. Estado de funcionamiento por tipo de digestor

	"Buena"	"Parcial"	"En construcción"	" No"	Total
Convencional	7	22	8	17	54
Bajo costo	1	5	1	16	23
Otros	-	1	-	1	2
Total	8	28	9	34	79
	36 Funcionando (45%)		43 No funcionando (55%)		

"Buena": Está funcionando sin problemas

"Parcial": Se está aprovechando el digestor, pero hay problemas que están limitando los beneficios (fugas de gas, manejo irregular, etc.).

"En construcción": Digestores que no estaban funcionando al momento de la encuesta por estar parcialmente o recientemente construidos (algunos han estado así por varios años).

"No": El digestor no estaba funcionando en forma regular al momento de la encuesta.

Funcionamiento de digestores ICAITI

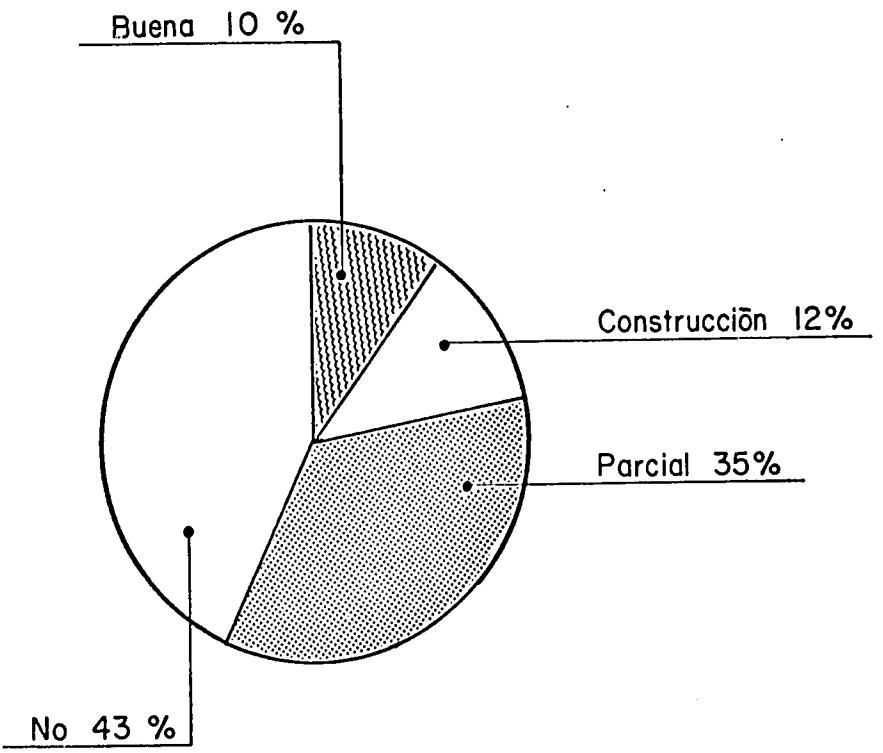


Ilustración 3

CUADRO 9 Digestores ICAITI construidos en América Central 1980-87. Capacidad por tipo de digestor

Volumen (m3)	Número de digestores de la capacidad indicada			
	"Convencional"	"Bajo costo"	"Otros"	Total
3-10	1	22	2	25
11-15	27	1	-	28
16-20	6	-	-	6
21-30	11	-	-	11
31-50	2	-	-	2
51-100	7	-	-	7
Total	54	23	2	79
% del total	68%	29%	3%	100%

Estado de funcionamiento de digestores convencionales

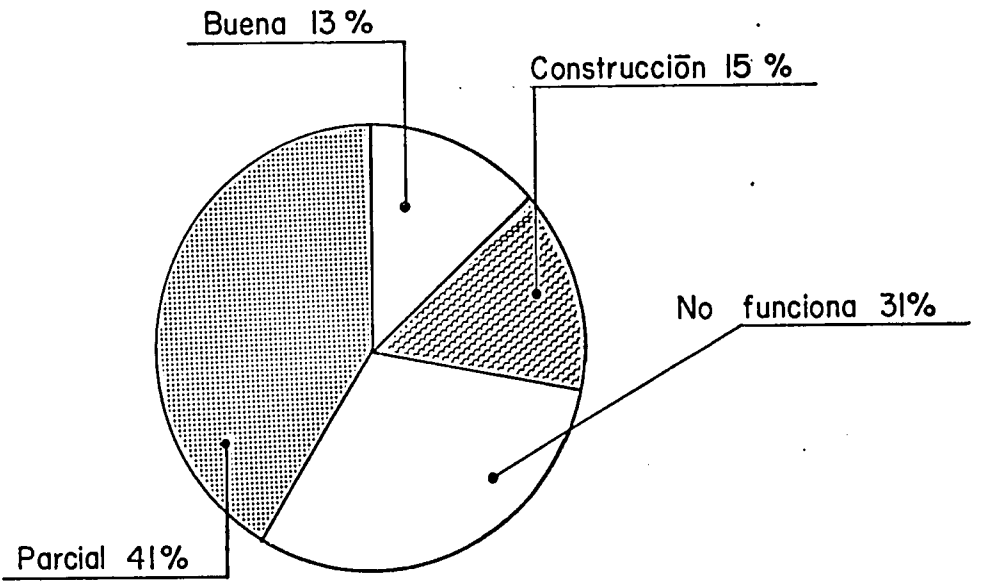


Ilustración 4

CUADRO 10 Digestores ICAITI construidos en América Central 1980-87. Estado de funcionamiento por capacidad del digestor (n = 79)

Capacidad en m3	Número de digestores en el Estado de Funcionamiento indicado "Buena"	"Parcial"	"En construc."	"No"	Total
3- 9	-	-	1	11	12
10	1	6	-	6	13
11-15	3	10	3	12	28
16-20	1	2	2	1	6
21-30	1	6	0	4	11
31-50	-	-	2	-	2
51-100	2	4	1	-	7
TOTAL	8	28	9	34	79
	36 Funcionando		43 No funcionando		

CUADRO 11 Relación porcentual de estado de funcionamiento según capacidad. Todos los digestores diseño ICAITI (n = 70*)

Tamaño digestor m3	% funcionando	% No funcionando
3-9	0	100
10	54	46
11-15	52	48
16-20	75	25
21-30	64	36
31-100	100	0
TOTAL	51	49

* No se incluyen digestores "en construcción".

Se puede concluir del Cuadro 11 que, en general cuanto más grande era el sistema de biodigestión, resultaba más probable que estuviera en funcionamiento (sea digestor convencional o de bajo costo).

Hay varias causas de esta tendencia. Primero, cuando es más grande la inversión, hay más incentivo para aprovecharla bien; también es probable que se analicen mejor los costos, los beneficios y la situación en general, para construir un sistema de diseño apropiado, en el sitio adecuado.

Quizá lo más importante en este sentido es que los dueños generalmente aportaron una mayor porción de los sistemas grandes, mientras que los sistemas pequeños eran en su mayoría regalados o subsidiados (con créditos blandos para materiales, y asistencia técnica gratis). De los digestores de "bajo costo", el proyecto financió la construcción de 5 unidades demostrativas; los demás recibieron apoyo de otras organizaciones y contrapartes interesadas en impulsar la tecnología de la biodigestión en el ámbito rural, o se construyeron por interés del beneficiario.

Otros factores que afectan adversamente el funcionamiento de los digestores pequeños incluyen: a) son más susceptibles a pequeños cambios en el tamaño de los hatos (la venta de una o dos vacas podría hacer inconveniente operar el sistema); b) producen mucho menos beneficios (productos) que los sistemas grandes, pero los costos principales y los problemas engorrosos son casi iguales (e.g. los de almacenamiento de gas, reparación de fugas, mantenimiento del digestor y sistema de distribución, etc.); c) como el beneficio es menor, hay menos incentivos para operarlos y mantenerlos bien, especialmente en los casos en que no hay beneficios en cantidad y calidad suficientes para que no resulte posible sustituir en un 100% otra fuente de energía (o abono); este caso, que es el más común con los sistemas pequeños, requiere mantener dos sistemas paralelos, y resulta un costo adicional de tiempo en vez de un ahorro; y d) los sistemas pequeños generalmente son más susceptibles a problemas con el proceso de fermentación que pueden resultar de cargas irregulares, mezcla inadecuada de carga, etc.; por tener menos volumen tienen menos capacidad de "buffer" para factores externos.

La Ilustración 5 enumera los principales problemas que presentaban las unidades que no estaban funcionando al momento de la encuesta. En primer lugar estaba la <u>falta de materia prima</u>, 38% de los casos. Luego, la <u>falta de interés del usuario</u> y <u>fallas en el almacenaje del gas</u>, 24%, cada una. Más del 75% de los problemas fueron relacionados con una mala planificación, por instalar los digestores donde no había materia prima suficiente y

Problemas de biodigestores no funcionando

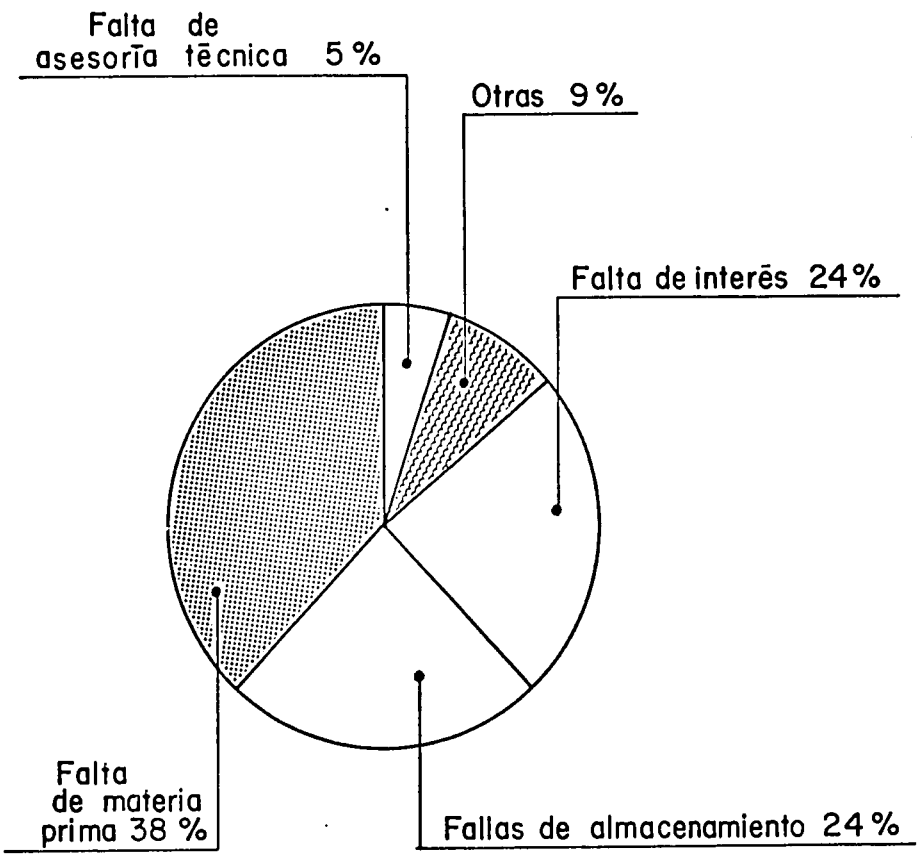


Ilustración 5

constante o donde el usuario no tenía mucho interés ni participación. Se debe intentar evitar estos errores en el futuro, aunque esto podría significar una reducción en la diseminación de la tecnología al agricultor en pequeño.

La Ilustración 6 muestra el uso de materias primas en los digestores. Predomina el estiércol bovino, 63%. Le siguen el porcino, 30%, y el aviar, 4%. Entre los clasificados como "otros" (4%) están: las heces humanas, equinas y las mezclas de las mencionadas.

La Ilustración 7 califica la disponibilidad de materia prima en los sitios donde están ubicados los biodigestores. Un 44% tiene la cantidad adecuada, un 30% tiene exceso (o sea que parte de los estiércoles no van al digestor) y un 26% tiene menos de lo que puede procesar.

La Ilustración 8 muestra el interés original del usuario. El principal fué la obtención de energía, 60%; la obtención de bioabono le sigue con un 23%; finalmente, el saneamiento ambiental, con un 17%.

La Ilustración 9 muestra los usos del biogás. El principal es la cocción de alimentos, 70%, seguido de la iluminación, 15%.

La Ilustración 10 presenta la utilización del bioabono. La mayoría (62%) ó lo utilizan en forma empírica, es decir, sin seguir las instrucciones proporcionadas por el ICAITI (44%), o no lo usan (18%). Lo usa con técnicas adecuadas un 38%.

La Ilustración 11 muestra las diferentes aplicaciones que se le está dando al efluente. Las principales son pastos y forrajes, (36%) y hortalizas (30%).

Materia prima utilizada

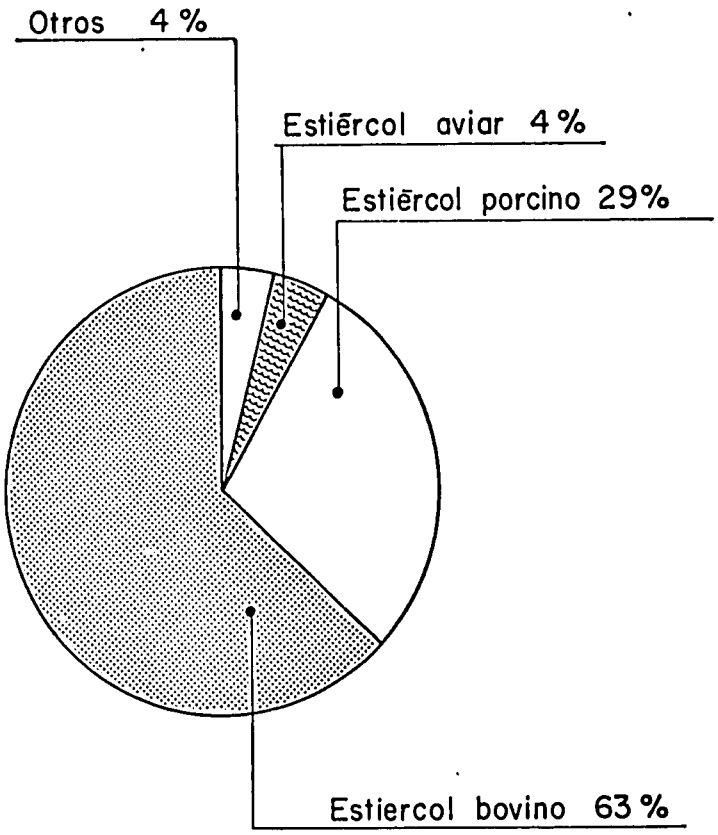


Ilustración 6

Cantidad materia prima disponible en relación con la capacidad del biodigestor

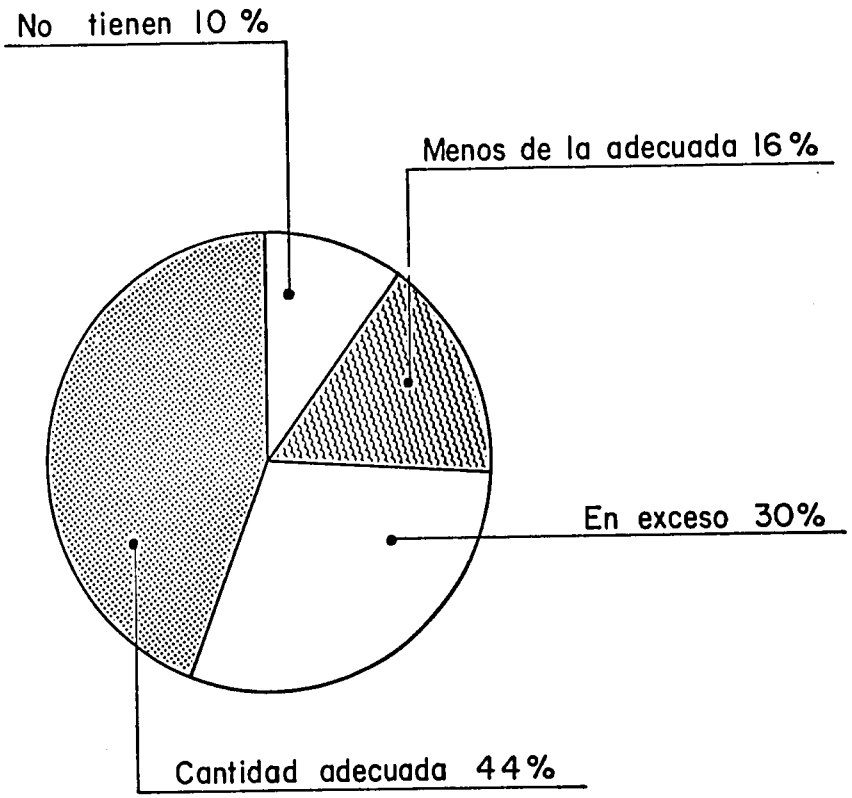
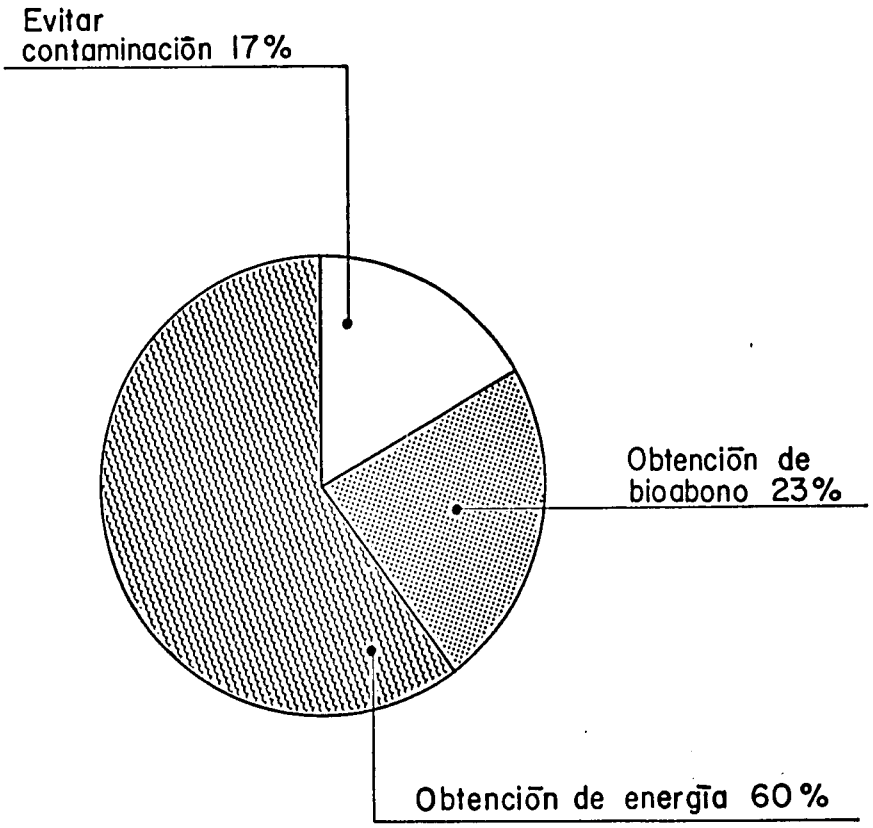
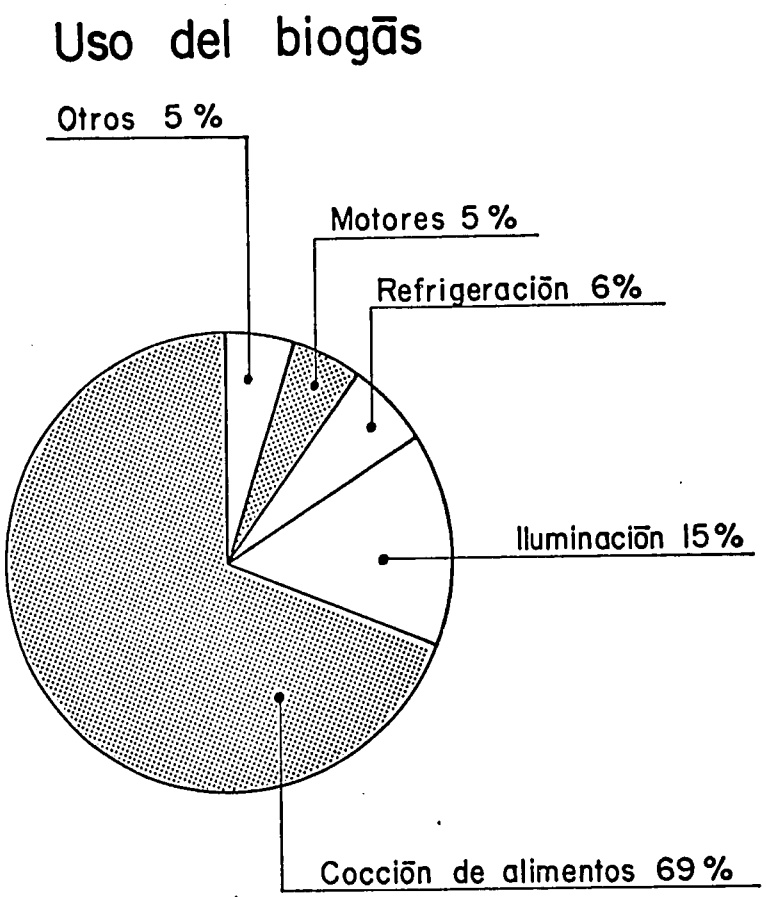


Ilustración 7

Interēs original de propietarios

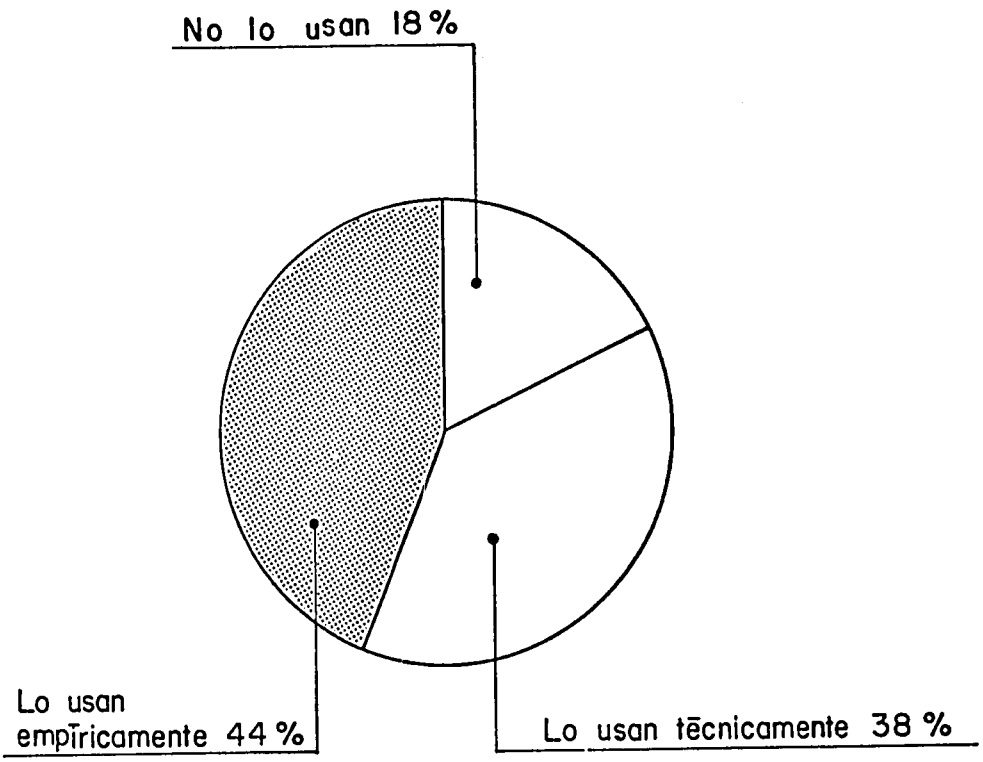


Ilustraciōn 8



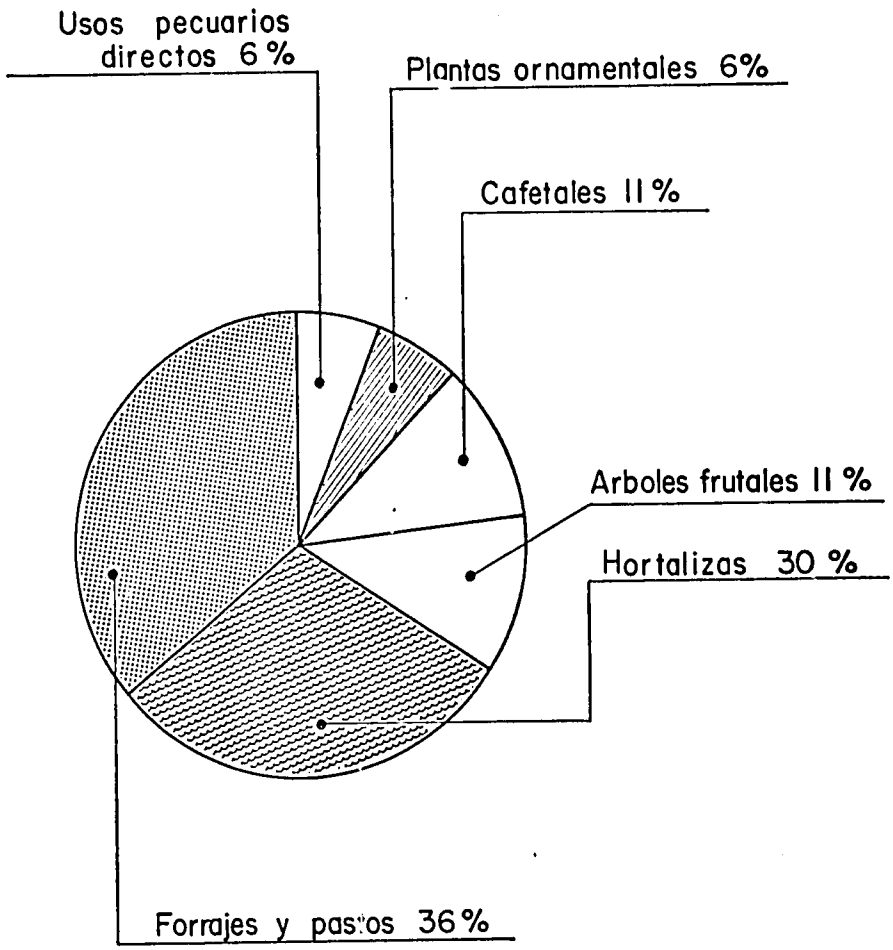
Ilustraciōn 9

Utilizaciōn del bioabono



Ilustraciōn 10

Aplicaciōn actual del bioabono



Ilustraciōn II

5.7 Otros Beneficios de los Biodigestores

Algunos de los más importantes beneficios, para las familias que usan los digestores son:

- En la cocina, en cuanto se sustituye el uso de la leña por gas, se ha evitado la producción de humo, lo que mejora el ambiente y la salud de las personas que cocinan;

- Ha contribuido a convencer a los usuarios de las ventajas de conservar la fertilidad natural de las tierras mediante el uso de abonos orgánicos; y

- Ha significado un mejor manejo de los animales y sus excretas, resultando en establos más limpios y animales más sanos. La tecnología ayuda a disminuir la contaminación ambiental causada por las excretas animales.

Cuando se trata de sistemas pequeños, los beneficios potenciales de la biodigestión son anulados por los costos adicionales incurridos en la operación y mantenimiento del sistema. Por la falta de almacenamiento barato y seguro para el biogás, y por los problemas comunes de fugas y mal manejo en los sistemas actuales, muchas veces el gas no es suficiente en cantidad o presión para realizar todo el trabajo esperado; se requiere entonces, prender fuego con leña o utilizar otro combustible para terminar la tarea. Esto, además de reducir significativamente el beneficio, implica una complicación y molestia adicional para la familia, junto con los trabajos continuos de mantener el sistema (distribución de gas, carga-descarga, etc.).

En cuanto al efluente, muchos usuarios lo dejan salir y correr hacia donde sea, por gravedad, sin mayor esfuerzo para distribuirlo bien. En algunos casos parece que se utilizaban los desechos en forma más beneficiosa <u>antes</u> de tener el sistema. A pesar de estas limitaciones, la difusión de digestores y especialmente de los digestores pequeños, ha aumentado en los últimos 10 años, como se describe a continuación.

5.8 Difusión de Digestores en la Región

El desarrollo de esta tecnología además de contribuir a la difusión del sistema ICAITI ha propiciado la construcción de otros diseños de biodigestores, especialmente los adecuados para la fermentación de desechos vegetales.

La Ilustración 12 muestra el aumento en el número construido de los diferentes sistemas de biogás en Centroamérica, en los últimos años. Como puede verse, hay

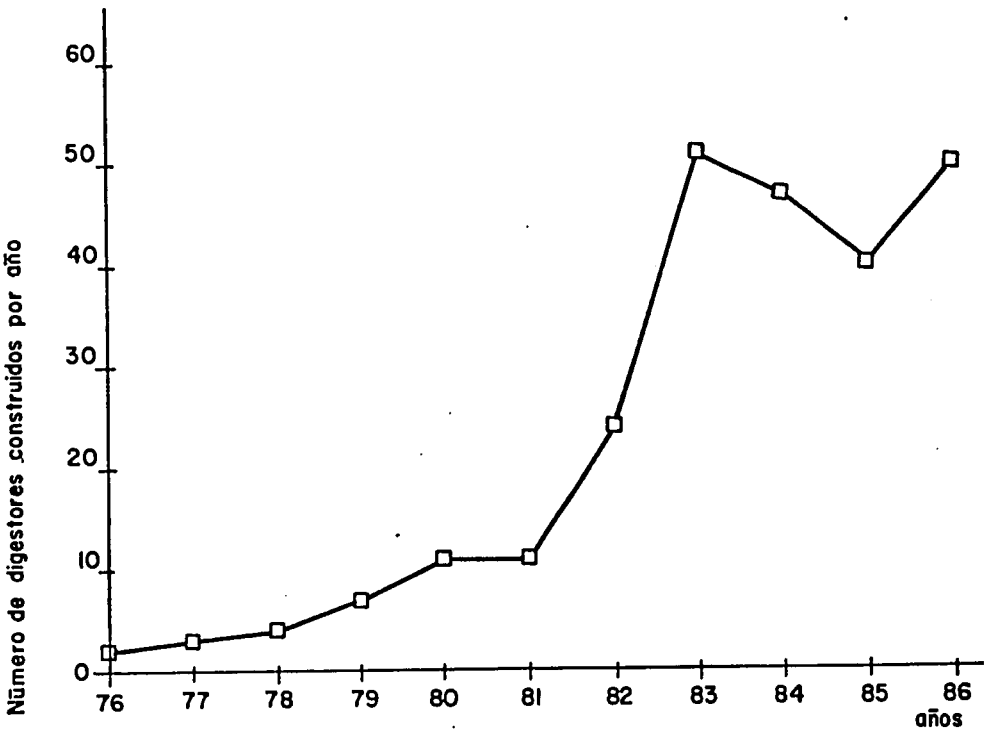
un incremento significativo en el número de plantas construidas a partir de 1981. Fue a partir de este año que ICAITI y otras organizaciones iniciaron programas de desarrollo y promoción de la tecnología. ICAITI colaboró con más de 20 organizaciones en la región que tuvieron interés en la tecnología de biodigestores (ver anexo A-6).

Durante este período (1980-1988), una serie de organizaciones ha venido promoviendo los digestores esperando de los beneficios energéticos y ecológicos que se han mencionado en las páginas anteriores. Estas instituciones han ofrecido créditos, asistencia técnica gratuita y subsidios para la construcción y operación de los sistemas.

A pesar de esto, no se ha logrado una difusión espontánea ni auto-sostenible. Muchos digestores no están siendo bien aprovechados o han sido abandonados.

Para comprender el por qué, hay que tomar en consideración que generalmente estos programas están orientados hacia pequeños agricultores, que poseen sólo unas pocas cabezas de ganado. Si se analiza la situación desde el punto de vista de estos presuntos beneficiarios, es más claro por qué la tecnología de biogás no se ha difundido espontáneamente en Centroamérica.

Construcción de digestores de biogás en Centroamérica (1976-1986)



NOTA:

datos estimados
no se incluyen los digestores de Nicaragua

Ilustración 12

Comparación ilustrativa:

Primero, según el análisis de costos presentado, es obvio que donde hay leña para recolectar y/o otros combustibles disponibles a costos razonables, habrá opciones más convenientes para la iluminación y cocción. Entonces, el sistema de biodigestión resultará adecuado para agricultores de zonas aisladas donde no hay alternativas energéticas disponibles o sus costos son muy altos.

Para un digestor de 15 m3 se debe tener el equivalente de 15 cabezas de ganado bovino para la materia prima. Son pocos los pequeños agricultores aislados que mantienen un hato de 15 cabezas en forma constante. Menos aún los que tienen establo con piso de concreto para este ganado (lo cual es prácticamente un requisito del sistema). Todavía menos los que tienen el establo a la par de la casa (para facilitar el uso del gas). Y todavía menos los que tienen campos de cultivo en los que se pueda usar el bioabono y que estén a un nivel más bajo, pero lo suficientemente cerca del establo (necesario para facilitar el uso del bioabono en forma líquida).

Son más escasos los que tienen disponibles buenas cantidades de agua todos los días del año para mezclar con el estiércol en la carga diaria. Otras condicionantes adicionales son: que los agricultores tengan en estos campos sistemas de riego lo suficientemente desarrollados como para aprovechar el bioabono uniformemente; y que puedan utilizar el sistema de riego durante todo el año con un pequeño flujo de abono diario. Lo cierto es que es casi imposible encontrar un pequeño agricultor que cumpla con todas las condiciones requeridas para aprovechar el sistema de biodigestión en forma "excelente".

Aún si se encontrara este caso especial, el agricultor tendría que decidir entre una inversión alta (lo cual podría representar más que una o dos veces sus ingresos anuales) para poder utilizar el biogás en lugar de seguir con su sistema actual. En zonas aisladas es probable que el trabajo de manejar y mantener el biodigestor y el sistema de gas sea bastante mayor que el trabajo de recolectar leña y cocinar en forma tradicional. Casi siempre son diferentes personas las que realizan estas tareas. Si la abuela o los niños recolectan la leña, por ejemplo, el costo es prácticamente cero (y podría ser un trabajo que les hace sentirse útiles). Tal como lo demuestra el análisis económico, aún si el digestor fuera regalado, no valdría la pena operarlo donde se recolecta leña sin costos significativos.

Con respecto al abono orgánico, se debe considerar lo siguiente. Durante el día, el estiércol del ganado cae donde éste come y fertiliza el mismo lugar donde el ganado

está consumiendo los nutrientes (sin invertir ningún trabajo humano). El estiércol que se acumula donde el ganado pasa la noche, se seca naturalmente y es mucho más liviano y manejable que el bioabono líquido del biodigestor; es fácil su utilización donde el agricultor quiere aplicarlo en el futuro (en su "milpa", por ejemplo que normalmente queda más elevada que la casa y que el sitio de guardar los animales). En la práctica, y en las condiciones comunes descritas, requiere mucho menos mano de obra e inversión el sistema tradicional de disposición y aprovechamiento de excretas que el sistema de biodigestión.

A pesar de todo esto, se han encontrado algunos casos en los que el sistema de biodigestión sí es una inversión buena. Estos casos son escasos y es dudoso que ellos ameriten la inversión de grandes cantidades de dinero público y subsidios. Donde hay más potencial y necesidad de aprovechar la biodigestión es a niveles industriales, en los que la contaminación es más grave (pulpa de café, por ejemplo), y los beneficios económicos son mucho mayores.

Además si en el futuro se llega a afrontar una extrema escasez de combustible, y resultara necesario usar estiércol seco para cocción, todas las experiencias con pequeños sistemas de biogas realizados hasta la fecha podrían servir. En estas condiciones, sí vale la pena considerar todas las alternativas, incluyendo biogás, para evitar la pérdida de los importantes elementos orgánicos presentes en el estiércol y otros desechos. Estos nutrientes son críticos para mantener la productividad agrícola y evitar la erosión de los suelos.

6. CONCLUSIONES

1. Se desarrolló un modelo de biodigestor semicontínuo ajustado a las condiciones particulares de la región. Sus rendimientos son parecidos a los digestores de otros diseños en otros países, pero ofrece algunas ventajas en términos de su construcción y operación.

2. El ICAITI construyó 15 unidades "demostrativas", que han producido un efecto multiplicador: algunas contrapartes han construido más de 50 unidades adicionales en la región. Al realizar una encuesta de 54 unidades en 1987, se encontró que más de la mitad de los digestores "convencionales" construidos se encuentran funcionando todavía.

3. Entre los biodigestores que funcionan mal o que fueron abandonados, las principales causas indicadas por los usuarios eran falta de materia prima, falta de interés, y fallas de amacenamiento del gas.

4. El problema predominante fue una deficiente planificación, y inadecuada selección de beneficiarios de esta tecnología.

5. Todavía falta desarrollar un sistema de almacenamiento de gas apropiado para pequeños agricultores: barato, seguro, sencillo y con un mínimo de necesidad de mantenimiento.

6. En general, la inversión en un digestor convencional no sería rentable para un agricultor pequeño. Se calculó que, en condiciones comunes, la familia que compra leña requerirá más de 50 años para recuperar la inversión; más aún, si la familia recolecta la leña, no se puede justificar en términos económicos ni siquiera la operación de un sistema regalado.

7. Las experiencias de ICAITI indican que no se debe considerar el sistema de biogás para agricultores, a menos que cumplan con una serie de requerimientos, entre ellos:

- hatos estables mínimos de 15 o más cabezas de bovinos o su equivalente;

- fuente de agua disponible todo el año para preparar la mezcla de carga diaria;

- mucho interés, y capacidad técnica-mecánica o disponibilidad de la misma;

- falta de otras alternativas energéticas y de vías de comunicación;

- necesidad de energía, más o menos estable, en el mismo local donde se encuentra la materia prima;

- establo, estructuras y procedimientos que faciliten la carga de la materia prima al digestor;

- necesidad de usar bioabono, preferentemente en campos que se encuentren cuesta abajo del digestor; sistema de riego o infraestructura para facilitar la distribución del bioabono líquido hacia estos campos por el sistema de gravedad;

Considerando todos estos requerimientos y los fondos necesarios para construir y mantener los sistemas de biodigestión, se deben tomar todas las precauciones para evitar la construcción de digestores en sitios inapropiados.

7. RECOMENDACIONES

1. En cada caso particular, antes de tomar la decisión de invertir en un sistema de biogás, se debe revisar todas las otras opciones de obtención de energía y abono. Existen suficientes opciones energéticas que pueden ser convenientes para pequeños agricultores a una fracción del costo del biogás.

2. Las proyecciones de costos y beneficios se deben hacer basadas en estudios confiables de casos reales, y no en estimaciones teóricas y optimistas. Por ejemplo, los estudios realizados indican que no se puede esperar un beneficio económico del bioabono en los primeros años del uso (Ver Informe separado del ICAITI).

3. Los programas que actualmente promueven el uso del biogás en pequeñas aplicaciones deben revisar sus objetivos y logros, aprovechando en la mayor medida posible las experiencias del ICAITI.

4. La biodigestión debe ser considerada si en algún momento en el futuro, la falta de alternativas haya llevado al uso de estiércol como combustible.

5. También debe considerarse la biodigestión cuando hayan problemas ambientales relacionados con grandes cantidades de desechos orgánicos (agroindustrias e industrias pecuarias, por ejemplo). Estos casos requerirán asesoramiento especial según sus condiciones específicas.

6. Se recomienda a las asociaciones ganaderas y a los ganaderos particulares ponerse en contacto con el ICAITI para cualquier consulta relacionada con el biogás.

8. ANEXOS

ANEXO A-1 Bibliografía y referencias

1. Comisión Nacional sobre Biodigestión. Inventario y evaluación de los biodigestores construidos en Costa Rica. Noviembre, 1986. San José, Costa Rica.

2. Demuynck, M. and Nyns, E. J. 1984. Biogas plants in Europe. Solar Energy R & D in the European Comunity. En Energy from biomass Volume 6, por Senis E.

3. Fry, John L.: Practical building of methane power plants for rural energy independence. 1975. D. A. Knox, Great Britain.

4. ICAITI. Aprovechamiento energético de Biogás. Serie de Informes Finales del Proyecto Leña y Fuentes Alternas de Energía. 1989.

5. ICAITI. Aprovechamiento de efluentes de biodigestores. Serie de Informes Finales del Proyecto Leña y Fuentes Alternas de Energía. 1989

6. ICAITI. Digestor para biogás-Construcción Bajo Costo. Serie de Informes Finales del Proyecto Leña y Fuentes Alternas de Energía. 1989.

7. ICAITI/BID. Informe Producción de Combustibles a partir de Desechos Agrícolas. Febrero, 1981. Proyecto ICAITI 1585. Guatemala, Guatemala.

8. ICAITI. Manual de Construcción y operación. Planta de Biogás, 1983. Guatemala, Guatemala.

9. Meynell, P.J. Methane: Planning a digestor. 1976. Unwin Brothers Limited, Great Britain.

10. Ministerio de Energía y Minas de Guatemala. Dirección General de Fuentes Nuevas Renovables. Inventario Nacional de Biodigestión. Enero, 1987. Guatemala, Guatemala.

11. Van Brokel, J. The Ignis Fatuus of Biogas. Delf University Press. 1982.Delf. The Netherlands.

ANEXO A-2 Materiales y Costos del digestor

Los materiales necesarios para la construcción y operación de los biodigestores ICAITI son de fácil adquisición en las ventas de materiales de construcción urbanas y rurales. La lista completa de materiales para la construcción de unidades de diferentes tamaños se detallan en la "Hoja de datos técnicos-biodigestor convencional", publicación H-100 del ICAITI (1984). En el Cuadro 7, se presentó la lista con los costos de los materiales necesarios para un biodigestor de 15 metros cúbicos; deberá tenerse presente que en las unidades de mayor capacidad se tendrán costos menores por unidad de volumen construido, debido a que los materiales de construcción no aumentan en forma proporcional, al contrario de lo que sucede con la producción de biogás y bioabono que sí aumentan cuando están operando con tiempos de fermentación iguales, lo que da como resultado mayores rentabilidades cuanto más grandes sean los digestores.

Sigue un detalle de costo de una red de distribución típica y los accesorios para aplicaciones de biogás.

MATERIALES Y COSTOS DE CONSTRUCCION DE RED DE DISTRIBUCION Y ALMACENAMIENTO

Cantidad	Material y/o equipo	Costo Unitario	Costo Total
1	Reducidor "bushing" 3/4" a 1/2"	1.50	1.50
1	Adaptador PVC macho de 1/2"	0.40	0.40
3	Tubos PVC de 1/2"	6.00	18.00
1	Llave de paso PVC de 1/2"	3.50	0.50
2	Codos PVC 90 de 1/2"	0.40	0.80
1	Tee PVC de 1/2"	0.45	0.45
1	Tubo pegamento PVC	3.00	3.00
1	Bolsa ahulada de biogás	Q. 60.00	Q. 60.00
	Subtotal		84.65
	Imprevistos (7%)		5.92
	Total materiales		90.57
	Mano de obra		15.00
	TOTAL		Q. 105.57
		Q. 2.5/US$	= Q. 42.23

NOTAS: Digestores con almacenamiento interno no necesitan de la bolsa ahulada, y el costo se reduce en $CA60.00, para un total de aproximado de $CA 15.00.

- El costo de la red de distribución dependerá de la distancia entre el biodigestor y el lugar de uso; aquí se ha calculado para una distancia de 15 mts.
- * Precios y salarios en Quetzales, a Marzo 1987.

A continuación se presentan otros gastos en los que se incurre para el uso del biogás:

	$CA
- Fabricación de estufa para su uso con biogás (3 quemadores, incluyendo) uno tipo estrella)	24.00
- Adaptación de motores de gasolina a biogás, de menos de 10 HP	6.00
- Fabricación de lámparas para biogás	20.00

Los equipos y técnicas de adaptación, así como sus eficiencias y costos se detallan en el informe final sobre "Utilización de biogás" editado por ICAITI (1988).

ANEXO A-3 Otros sistemas de biodigestión

A continuación se describen algunos otros sistemas de biodigestión anaeróbica de funcionamiento semicontinuo utilizados en Centroamérica durante la vida del Proyecto (para sistemas de operación discontinua ver el documento separado "Digestores especiales para Biogás").

A.1 Biodigestores chinos:

Son tanques cilíndricos con techo y piso curvos; tienen una relación pequeña altura-diámetro; son construidos totalmente bajo tierra. El sistema tiene, además, dos cámaras situadas a los lados y que sirven para realizar las cargas y descargas diarias (Ver Ilustración 13). Los materiales básicos de construcción son: ladrillo, arena y cemento. No necesita de un sistema separado para almacenamiento del gas, ya que éste se almacena en la parte superior interna mediante un desplazamiento del material fermentado a la cámara de descarga, que también funciona como pileta de compensación. Al evacuar el gas el material desplazado entra nuevamente al tanque de biodigestión.

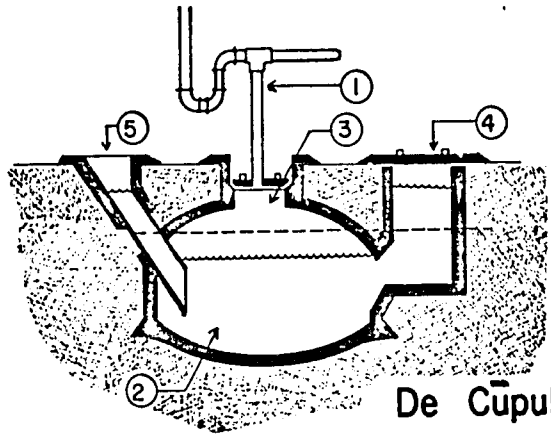
Este sistema puede fermentar además de estiércoles animales, basuras domésticas y algunos desechos vegetales siempre que se carguen cortados en piezas pequeñas.

El diseño de esta planta provoca que el material dentro del sistema se separe en dos capas, una líquida sobrenadante y una de lodos en el fondo; la parte líquida ya fermentada se saca del biodigestor según se realizan las cargas y descargas diarias; los lodos en el fondo son sacados mediante limpiezas totales del tanque una o dos veces al año. Tanto la parte líquida como la sólida salen del sistema listos para ser aplicados en los campos como bioabono. Una ventaja principal es su bajo costo. Entre las limitaciones se podría mencionar la necesidad de dominar técnicas de construcción especiales y problemas comunes de almacenamiento interno de gas (fugas, presiones variables, control de nivel freático).

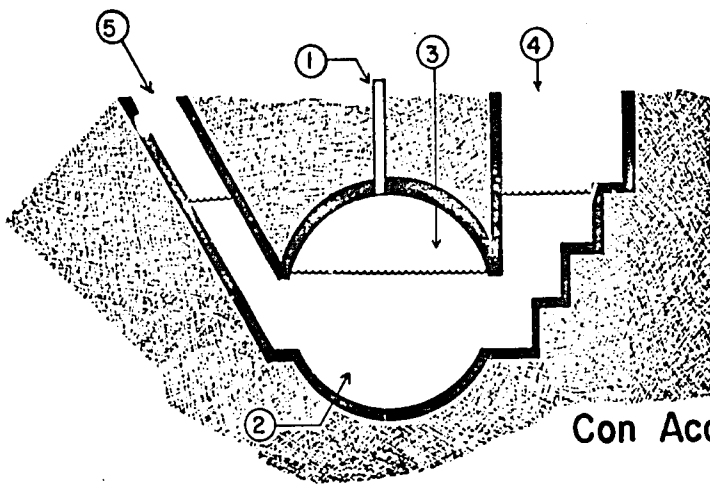
A.2 Biodigestores tipo Hindú

Los digestores de este tipo son tanques cilíndricos verticales y subterráneos a semejanza de un pozo de agua (ver Ilustración 14). En la parte superior lo corona una campana que, por lo general es metálica, que funciona como tapadera del tanque y almacena el gas producido; mediante este arreglo, el gas se conserva a presión constante, lo que facilita la operación de los equipos. Las cargas se efectúan por gravedad una vez al día, a través de una pileta; un volumen igual de lodos digeridos es expulsado por la pileta de vaciado en forma automática, ya listos para ser aplicados a los diferentes cultivos.

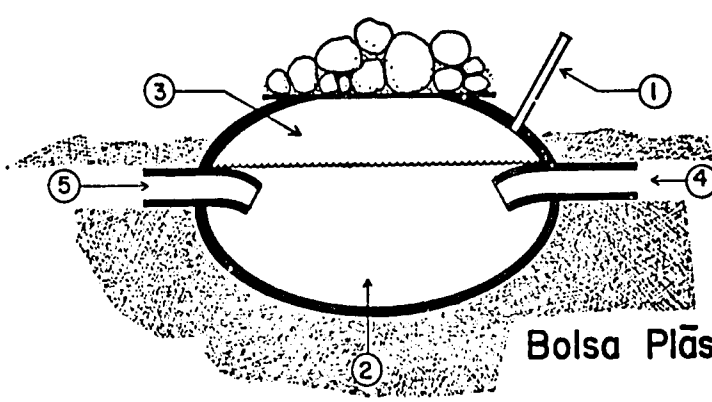
Biodigestores circulares chinos



De Cúpula



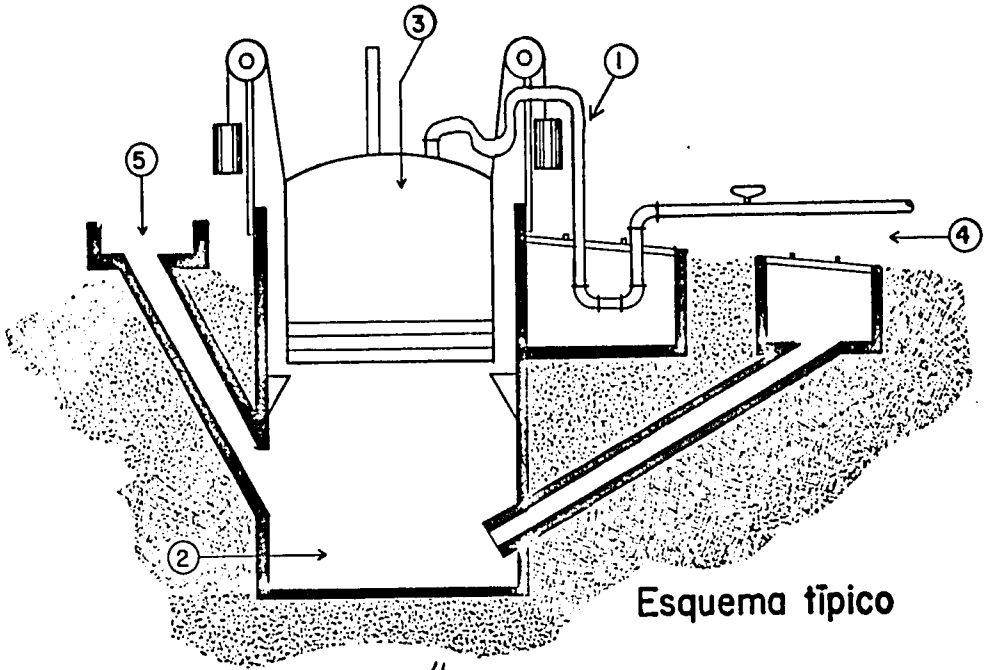
Con Acceso



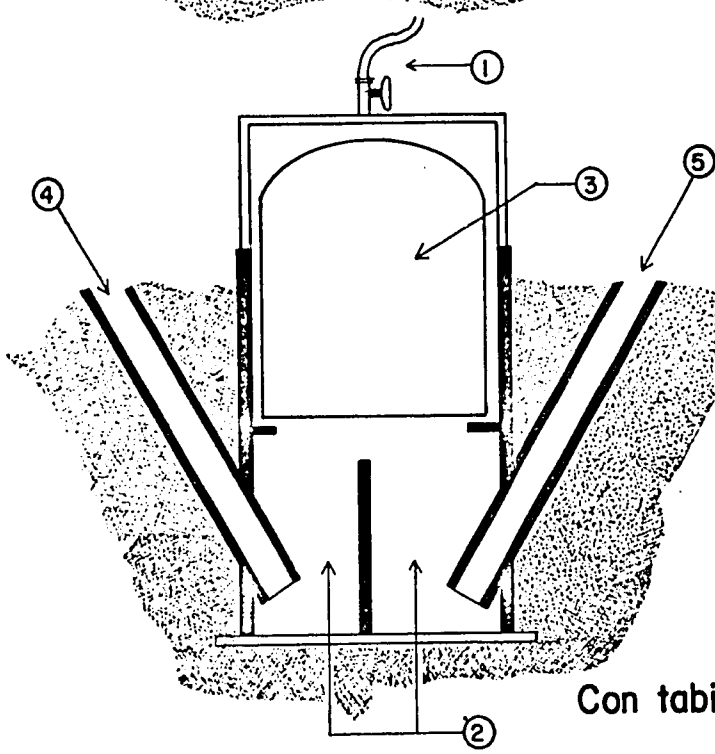
Bolsa Plástica

1. Tubería de gas o manguera
2. Biodigestor o cámara de fermentación
3. Gasómetro o depósito de gas
4. Depósito o compuerta de vaciado
5. Depósito o boca de carga

Ilustración 13



Esquema típico



1. Tubería o manguera para gas
2. Cámara de fermentación
3. Depósito de gas (gasómetro)
4. Instalación para vaciado
5. Instalación para carga

Con tabique interior

Biodigestores circulares hindúes

Ilustración 14

Estos digestores por lo general se construyen de ladrillo, con una cubierta interior de cemento pulido para evitar filtraciones. La campana puede construirse de láminas de hierro o de fibra de vidrio.

Sus ventajas incluyen un manejo sencillo y un sistema de almacenamiento de gas más confiable y conveniente (presiones constantes). Tanto el costo de esta campana, su mantenimiento y la limpieza del sistema hacen que los costos de inversión tiendan a ser más altos que los correspondientes a los sistemas de biodigestión ICAITI de la misma capacidad.

A.3 Digestores de media bolsa:

Este sistema está compuesto por una bolsa de fermentación impermeable cuyo piso tiene una inclinación del 4%, para facilitar el desplazamiento del material procesado. La cubierta es de material plástico, a semejanza de una media bolsa, la que sirve tanto para aislar el producto del aire como para almacenar el gas producido.

La operación de este biodigestor se lleva a cabo por dos vías de comunicación, pila de entrada y pila de salida.

Este modelo es de fácil construcción en los países donde se encuentre disponible el material plástico (PVC Hipalon). En el área centroamericana se encuentran con más facilidad en Costa Rica. Para su construcción hay que tener presente la relativa poca duración de los plásticos, especialmente si no están protegidos de los rayos solares.

A.4 Digestores bolsa completa:

Consiste en una bolsa de hule sintético plástico con sus conexiones para entrada y salida.

Generalmente el digestor es colocado sobre una zanja hecha en el suelo. Puede adaptársele sistemas mecánicos para romper la espuma y mover los lodos acumulados en el fondo. Es de fácil construcción pero no se ha difundido mucho por la dificultad actual de obtener el material plástico.

ANEXO A-4 Equivalencia de combustibles en términos de Biogás

La disponibilidad de combustibles en el área rural cambia de una zona a otra. Además el precio incluye el valor del combustible en el lugar de venta más, el valor de su transporte al lugar donde se utiliza.

En Centroamérica el biogás ha sustituido principalmente a la leña; sin embargo, también se ha utilizado en sustitución de otros combustibles presentados en el cuadro siguiente. Para mayor información ver el Informe final sobre Aprovechamiento de Biogás.

COMBUSTIBLES COMUNES Y SU EQUIVALENTE EN BIOGAS

Tipo de combustible	Poder calorífico (valor bruto)	Equivalencia en Biogás
Leña	2 500 - 3 600 kcal/kg	0.46 - 0.67 m3/kg
Gasolina	8 260 kcal/litro	1.54 m3/litro
Gas LP	6 100 kcal/litro	1.14 m3/litro
Kerosene	8 780 kcal/litro	1.64 m3/litro
Fuel Oil	9 920 kcal/litro	1.86 m3/litro
Gas Oil	9 200 kcal/litro	1.72 m3/litro
Gas natural	8 750 kcal/m3	1.82 m3/m3
Biogás	5 342 kcal/m3	

Fuente: ICAITI

ANEXO A-5 Contrapartes de ICAITI en Actividades de Biogás
GUATEMALA:

SIGLAS	NOMBRE COMPLETO INSTITUCION	TIPO DE INSTITUCION	BENEFICIARIOS (GRUPO OBJETIVO)	TIPO DE RELACION Y ACTIVIDAD CON EL PROYECTO	ACTIVIDAD ACTUAL-1987
1. MEM	Ministerio de Energia y Minas	Gubernamental	Rural/Sub-Urbano	Oficialmente la contraparte Principal en Guate., Biogás, Solar y Estufas.	Grupos Nac. Energia Solar, Biogás y Estufas.
2. INTECAP	Inst. Técnico de Capacitación y Productividad	Nac. Div. Ministerio Trabajo	Rural/Urbano	Estufas, Horno Panadería y principalmente Biogás.	Poseen buen programa Biogás y Estufas.
3. DIGESA	Dirección Gral. Servicios Agrícola	Nac. Div. Ministerio Agricultura	Rural	Diseminación Estufas y Biodigestores.	Trabaja con estufas
4. DIGESEPE	Dirección Gral. Servicios Pecuarios	Nac. Div. Ministerio Agricultura	Rural	Entrenamiento a extensionistas en Biogás	Información no disponible
5. ICTA	Inst. Ciencia y Tecnologia Agrícola	Nac. Div. Ministerio Agricultura	Rural	Colaboración fase experimental Desarrollo Biodigestores	Difusión de la tecnología ganaderos.
6. C P	Cuerpo de Paz	Internacional USA	Rural	Diseminación Biodigestores, Estufas, hornos.	Programa Micro-empresa rural énfasis en Téc. Apropiada.
7. I T A	Inst. Técnico de Agricultura	Nac. Div. Ministerio Agricultura	Rural, Escuela Técnica	Cedieron espacio unidades demostrativas de Biogás.	Difusión Tecnología entre estudiantes.

EL SALVADOR:

SIGLAS	NOMBRE COMPLETO INSTITUCION	TIPO DE INSTITUCION	BENEFICIARIOS (GRUPO OBJETIVO)	TIPO DE RELACION Y ACTIVIDAD CON EL PROYECTO	ACTIVIDAD ACTUAL
1. CEL	Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica Rio Lempa	Nac. Autónoma	Rural	Ha colaborado en la demostración en Biogás, Estufas.	Orienta actividad a la investigación.
2. CENTA	Centro Nac. de Tecnología Agrícola	Nac. Div. Ministerio Agricultura	Rural	Operación y diseminación plantas Biogás, Estufas y Tecnologías Solares.	Funciona como centro demostrativo.
3. ISIC	Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café	Nacional	Rural	Intercambio tecnológico en Biogás.	Investigación y difusión de biodigestores.
4. DIDECO	Dirección de Desarrollo de la Comunidad.	Nac. Div. Ministerio Interior	Rural/Urbana	Diseminación de estufas y biogás (unidades demostrativas).	Activo en grupo Nacional de Estufas.
5. ISTA	Instituto Salvadoreño de Transformación Agraria	Nac. Autónoma	Rural	Diseminación estufas y biodigestores en forma limitada.	Continúa promoviendo estufas.
6. ENA	Escuela Nacional de Agricultura	Nacional	Rural	Construyó y opera biodigestor demostrativo.	Investiga y difunde tecnología biogás.

HONDURAS:

SIGLAS	NOMBRE COMPLETO INSTITUCION	TIPO DE INSTITUCION	BENEFICIARIOS (GRUPO OBJETIVO)	TIPO DE RELACION Y ACTIVIDAD CON EL PROYECTO	ACTIVIDAD ACTUAL
1. C D I	Centro de Desarrollo Industrial	Nac. Semi-Autónoma	Urbano/Rural	Recibió entrenamiento en Biogás, Estufas, Hornos y Energía Solar.	Difusión y construcción de estufas y Biodigestotores.
2. ASJO	Asociación San José Obrero	ONG	Rural	Recibió entrenamiento en Biogás, Energía Solar y Estufas.	Proy. demostrativo lechero en Choluteca.
3. MBN	Ministerio de Recursos	Nac. Ministerio	Rural	Patrocinado por FAO, colaboró en diseminación Biogás.	No disponible

COSTA RICA:

SIGLAS	NOMBRE COMPLETO INSTITUCION	TIPO DE INSTITUCION	BENEFICIARIOS (GRUPO OBJETIVO)	TIPO DE RELACION Y ACTIVIDAD CON EL PROYECTO	ACTIVIDAD ACTUAL
1. MEI	Ministerio de Industria, Energia y Minas	Nacional Ministerio	Urbano/Rural	Oficialmente era la contraparte principal de actividades promocionales de ICAITI en C. Rica.	Coordina grupos nac. en Costa Rica.
2. C P	Cuerpo de Paz	Internacional	Rural	Entrenamiento en Estufas, Secadores solares y biogás.	Sigue promoción de tecnologias apropiada.
3.	Cámara de Industria de Costa Rica	Privada	Urbana	Colaboración en Seminarios Talleres para Biogás y Energia Solar.	No disponible
4. U C R	Universidad de Costa Rica	Nacional	Urbana	Promovió y diseminó Biodigestores ICAITI.	No disponible
5. ITCR	Instituto Tecnológico de Costa Rica	Nac. Autónoma	Rural/Urbana	Construyó unidades de Biogás tipo ICAITI	No disponible

PANAMA:

SIGLAS	NOMBRE COMPLETO INSTITUCION	TIPO DE INSTITUCION	BENEFICIARIOS (GRUPO OBJETIVO)	TIPO DE RELACION Y ACTIVIDAD CON EL PROYECTO	ACTIVIDAD ACTUAL
1. DIGEDECOM	Dirección Gral. de Servicio a la Comunidad.	Estatal	Sector Rural	Recibió entrenamiento en biogás, hornos, panela y estufas cerámica.	Difusión y construcción de estufas.

ANEXO A-6 **Lista de informes técnicos y otras publicaciones del ICAITI correspondientes al Proyecto Leña y Fuentes Alternas de Energía.**

1) PUBLICACIONES EN EL PERIODO 1980-1987

	Título	Año	Precio (US$)
-	Leña y Fuentes Alternas de Energía: Estudios sobre leyes y políticas en América Central	1983	3.00
-	Manual de Construcción y Operación. Planta de biogás	1983	2.00
-	Manual de Construcción y Operación. Planta económica de biogás	1983	2.00
-	Biogás: Información general	1983	2.00
-	Informe Técnico de Biogás. Ensayos de sustrato)	1984	2.00
-	Aplicaciones de Biogás y Bioabono	1985	2.00
-	Digestor para biogás. Construcción Convencional (Hoja de datos técnicos)	1984	0.50
-	Digestor para biogás. Construcción de bajo costo (Hoja de datos técnicos)	1985	0.50
-	Estufas domésticas: Pruebas de Eficiencia Energética	1984	3.00
-	Estudio sobre la introducción y adopción de estufas de leña en cinco comunidades de Guatemala	1983	3.00*
-	Manual de Construcción y Operación Estufa Chulah	1983	2.00*
-	Manual de Construcción y Operación Estufa Lorena	1983	2.00
-	Estufa de Cerámica. Manual de construcción y operación	1985	2.00

* Publicación agotada; disponible solamente en fotocopia.

Publicaciones en el período 1980-1987 (Cont.)

	Título	Año	Precio (US$)
-	Manual para estufas de uso colectivo. Construcción y Operación	1984	2.00
-	Producción de panela, con bagazo de caña	1987	2.00
-	Informe del desarrollo de una estufa de cerámica	1985	2.00
-	Colector solar plano. Manual para la fabricación	1986	2.00
-	Aplicaciones de energía solar	1983	3.00
-	Secado solar de granos.	1985	3.00
-	Secadores solares Carpa y Wengert Construcción-uso-mantenimiento	1985	2.00
-	Secado de madera	1986	2.00
-	Conservación de productos marinos	1985	2.00

2. INFORMES FINALES, DISPONIBLES A PARTIR DE 1988

	Título	Precio (US$)*
-	Aprovechamiento energético de biogás	3.00
-	Digestor para biogás, construcción convencional	4.00
-	Digestor para biogás, construcción de bajo costo	3.00
-	Digestores especiales para biogás	3.00
-	Aprovechamiento de efluentes de biodigestores	4.00
-	Horno de leña para cal	2.00
-	Horno de leña para producción de sal	2.00
-	Estufas domésticas mejoradas: cerámica prefabricada	4.00
-	Estufas industriales de leña	3.00
-	Estufas domésticas mejoradas: Lorena y similares	3.00
-	Hornilla para panela	3.00
-	Hornos de leña para pan	4.00
-	Hornos para ladrillos	3.00
-	Hornos para carbón vegetal	6.00
-	Gasificador de biomasa	3.00
-	Uso de energía solar y biogás para pasteurizar leche	3.00
-	Pequeño secador para piña (Solar-combustión)	3.00

* Abril, 1989

Publicaciones disponibles en 1988 (Cont.)

	Título	Precio (US$)*
-	Secador para cacao y granos Solar-combustión	2.00
-	Secado de madera aserrada. Solar-combustión	4.00
-	Calentador solar para agua	5.00
-	Salinas solares	3.00
-	Secamiento solar de pescado	4.00
-	Curado solar de cebolla	3.00
-	Secado solar de leña y bagazo de caña	3.00
-	Secadores solares para fruta	5.00

* Abril, 1989