
Manual de diseño y de difusión de biodigestores familiares, con enfoque en biodigestores tubulares

Agradecimientos

La redacción de este manual no habría sido posible sin el apoyo de varias personas. Se lo agradece mucho a Jaime Martí Herrero, del proyecto EnDev de la GIZ en Bolivia, por su disponibilidad en contestar mis preguntas, por haber facilitado la interesante visita mía en algunas instalaciones del proyecto en la bahía de Cohana, y de manera general por su valioso trabajo en el tema de los biodigestores, sobre lo cual se apoya parte de este documento. Gracias también a Carlos Rivas, director del IRG, socio de la GIZ en la bahía de Cohana, por la visita realizada en el mes de marzo 2011.

Muchas gracias a la ONG Soluciones Prácticas, y en particular a Robert Cotrina, Gilberto Villanueva y Fernando Acosta por las informaciones que brindaron y la interesante visita de biodigestores unifamiliares en Yanacancha Grande, Cajamarca.

Se lo agradece a Albina Ruiz Ríos, directora de la ONG Ciudad Saludable, por su amabilidad y por las informaciones que me proporcionó sobre el proyecto que realizó en el parque porcino de Ventanilla.

Muchas gracias a Carmen Felipe Morales de la chacra ecológica Casa Blanca en Pachacámac por sus aportes sobre el biodigestor tipo chino y la utilización de sus productos y a Davide Poggio por las informaciones que me brindó.

Muchas gracias a Anna Garwood de Green Empowerment y la RedBioLAC por su trabajo sobre la difusión de biodigestores en América Latina y en el Caribe. Espero que salga adelante, a fines de mejorar la vida de familias y de pequeños productores agropecuarios de esta región.

Por fin se lo agradece mucho a mis colegas de Microsol, por haber creado un ambiente de trabajo muy simpático.

Astrid Forget

16 de junio 2011, Lima

Contenido

Agradecimientos	1
Contenido.....	2
Lista de ilustraciones.....	5
Lista de tablas	6
Introducción.....	7
1. Dimensiones técnicas.....	8
1.1. Principios básicos de la tecnología	8
1.2. Biodigestor	11
1.2.1. Diferentes tipos de biodigestores	11
1.2.1.1. Biodigestor de tipo chino o cúpula fija	11
1.2.1.2. Biodigestor de tipo hindú o cúpula flotante	12
1.2.1.3. Biodigestor de tipo Taiwán o tubular o “salchicha”	12
1.2.1.4. Biodigestor de tipo media bolsa	12
1.2.1.5. Resumen	13
1.2.2. Componentes del biodigestor tubular	13
1.2.3. Definición de características.....	14
1.2.3.1. Medidas físicas.....	14
1.2.3.2. Reactor.....	15
1.2.3.3. Invernadero	23
1.2.3.4. Tuberías y válvulas.....	24
1.2.3.5. Reservorio.....	25
1.2.3.6. Cocina	25
1.2.3.7. Resumen	26
1.2.4. Normas	26
1.3. Construcción e instalación.....	28
1.3.1. Construcción del biodigestor.....	28
1.3.1.1. Zanja.....	28
1.3.1.2. Fabricación del reactor	30
1.3.2. Instalación	33
1.3.2.1. Introducción en la zanja.....	33
1.3.2.2. Primera carga.....	34
1.3.2.3. Invernadero en el caso de la sierra alta o del altiplano.....	35
1.3.2.4. Construcción de la conducción de gas.....	35
1.3.2.5. Construcción e instalación del reservorio	38
1.3.2.6. Construcción e instalación de la cocina.....	39

1.3.3.	Biodigestor unido a una letrina (3).....	40
1.4.	Operación, mantenimiento y reemplazo	41
1.4.1.	Operación	41
1.4.1.1.	Inicio del proceso de metanización	41
1.4.1.2.	Alimentación del biodigestor.....	41
1.4.1.3.	Uso de los productos	42
1.4.2.	Mantenimiento.....	44
1.4.3.	Reemplazo	46
2.	Dimensiones de difusión	48
2.1.	Experiencias.....	48
2.1.1.	Panorama mundial	48
2.1.1.1.	China	48
2.1.1.2.	India	50
2.1.1.3.	Nepal.....	52
2.1.1.4.	Taiwán.....	52
2.1.1.5.	Vietnam.....	53
2.1.1.6.	Otros países asiáticos.....	53
2.1.1.7.	Tanzania	54
2.1.1.8.	Kenia	54
2.1.1.9.	Biogas for Better Life	54
2.1.2.	América Latina.....	55
2.1.2.1.	México	56
2.1.2.2.	Cuba	56
2.1.2.3.	Honduras.....	56
2.1.2.4.	Nicaragua	56
2.1.2.5.	Costa Rica.....	56
2.1.2.6.	Colombia.....	57
2.1.2.7.	Ecuador	57
2.1.2.8.	Bolivia.....	57
2.1.2.9.	Brasil	64
2.1.2.10.	Chile	64
2.1.3.	Perú	65
2.2.	Difusión.....	67
2.2.1.	Responder a las necesidades.....	67
2.2.1.1.	Identificación de necesidades.....	67
2.2.1.2.	Identificación de recursos.....	68

2.2.1.3.	Identificación del modelo adaptado.....	68
2.2.2.	Modelo de gestión.....	70
2.2.2.1.	Aspectos de los modelos de gestión.....	70
2.2.2.2.	Experiencias de modelos de gestión en el Perú y en Bolivia.....	71
2.2.3.	Posibles barreras a la difusión en el Perú y América Latina.....	71
2.2.3.1.	Barreras técnicas.....	72
2.2.3.2.	Barreras programáticas.....	72
2.2.3.3.	Barreras sociales.....	73
2.2.3.4.	Barreras políticas.....	73
2.2.3.5.	Barreras económicas.....	73
2.2.3.6.	Barreras ambientales.....	74
2.3.	Capacitación y sensibilización.....	74
2.3.1.	Capacitación.....	75
2.3.1.1.	Antes de la decisión de instalar un biodigestor.....	75
2.3.1.2.	Capacitación a la construcción, al uso y al mantenimiento.....	75
2.3.2.	Sensibilización.....	76
2.3.2.1.	Impactos sobre la salud.....	76
2.3.2.2.	Impactos sobre el medio ambiente.....	77
2.3.2.3.	Impactos sociales.....	77
2.3.2.4.	Impactos económicos.....	77
	Conclusión.....	79
	Bibliografía.....	80
A.	Características de diferentes sustratos.....	83

Lista de ilustraciones

Ilustración 1.a: Digestión anaerobia (2).....	9
Ilustración 1.b: Tipo chino.....	11
Ilustración 1.c: Tipo hindú.....	11
Ilustración 1.d: Salida lateral de lodos en la chacra ecológica de Pachacámac (Lima, Perú)	11
Ilustración 1.e: Tipo tubular (3)	13
Ilustración 1.f: Tipo media bolsa.....	13
Ilustración 1.g: Metodología de diseño del reactor del biodigestor (3)	23
Ilustración 1.h: Invernadero de un agua en el altiplano (Bolivia) (9).....	24
Ilustración 1.i: Invernadero de cúpula en los Baños del Inca, Cajamarca (13)	24
Ilustración 1.j: Cocina de biogás con llanta y quemador de 3 líneas.....	26
Ilustración 1.k: Interior de la zanja antes de la colocación del reactor (9).....	29
Ilustración 1.l: Biodigestor con tapiales e invernadero (9).....	29
Ilustración 1.m: Forma de la zanja, con los cortes longitudinal (A) y transversal (B) (3).....	30
Ilustración 1.n: Zanja recubierta de una hoja de plástico (16)	30
Ilustración 1.o: Se está poniendo paja en el fondo de la zanja (16)	30
Ilustración 1.p: Fabricación del “pasamuros” (17).....	32
Ilustración 1.q: Pliegue del plástico para amarrarlo al tubo (3)	32
Ilustración 1.r: Amarre de los tubos de entrada y salida del biodigestor.....	33
Ilustración 1.s: Colocación del reactor en la zanja (3)	33
Ilustración 1.t: Colocación de los tubos de entrada y salida para tener un nivel de lodo óptimo (3)	34
Ilustración 1.u: Biodigestor de geomembrana de PVC listo para instalar (16).....	34
Ilustración 1.v: Tee en un punto bajo de la tubería (13)	36
Ilustración 1.w: Válvula de seguridad cerca de La Paz, Bolivia (9).....	36
Ilustración 1.x: Filtro a H ₂ S, con virutas de hierro a dentro (13)	37
Ilustración 1.y: Reservorio horizontal inflado en Yanacancha Grande (Cajamarca) (13)	38
Ilustración 1.z: Reservorios verticales inflados cerca de La Paz, Bolivia (9)	39
Ilustración 1.aa: Reservorios verticales parcialmente inflados cerca de La Paz, Bolivia (9).....	39
Ilustración 1.bb: Cocina de arcilla (13).....	40
Ilustración 1.cc: Cocina de arcilla con dos fogones (13)	40
Ilustración 1.dd: Cocina con quemador de 3 líneas. Falta todavía el soporte. (9)	40
Ilustración 1.ee: Cocina a biogás instalada cerca de una cocina a gas de bombona (9)	40
Ilustración 1.ff: Ciclo del biodigestor	42
Ilustración 1.gg: Cultivos sin (parte izquierda) y con (parte derecha) uso de biol: los cultivos con biol ya tienen flores (9)	43
Ilustración 1.hh: Caja de mezcla a la entrada del biodigestor (13).....	46
Ilustración 1.ii: Caja de salida de biol (13)	46
Ilustración 2.a: El CIB3 antes de su inauguración, en marzo 2011 (9).....	58
Ilustración 2.b: Carga diaria según el tipo de estiércol para los modelos Altiplano, Valle y Trópico de la GIZ (19)	63
Ilustración 2.c: Biodigestor con invernadero de cúpula en el INIA (13)	66
Ilustración 2.d: Biodigestor con invernadero un agua en el INIA (13).....	66

Lista de tablas

Tabla 1.a: Componentes del biodigestor tubular	14
Tabla 1.b: Temperaturas según el tipo de regiones (3) (9).....	15
Tabla 1.c: Características del estiércol según la origen del estiércol (3)	16
Tabla 1.d: Tiempo de retención según temperatura (3).....	17
Tabla 1.e: Tiempo de retención según temperatura para mejor fertilizante (3).....	17
Tabla 1.f: Factor de producción de biogás relativamente a los sólidos volátiles (3)	19
Tabla 1.g: Volumen de biogás en litros producido diariamente por cada kg de estiércol fresco cargado.....	20
Tabla 1.h: Parámetros geométricos según el ancho de rollo del PE tubular (3).....	20
Tabla 1.i: Dimensiones de la zanja según el ancho de rollo (3)	22
Tabla 1.j: Materiales adicionales que no tienen costo específico (3).....	28
Tabla 1.k: Precio de herramientas para instalación de biodigestores en la ciudad de La Paz, Bolivia, en abril del 2008 (US\$ 1 = Bs. 7.5) (3).....	28
Tabla 1.l: Material y herramientas para la fabricación del reactor (14)	31
Tabla 1.m: Material y herramientas para la construcción de la conducción de gas (3)	36
Tabla 1.n: Material y herramientas para la construcción del reservorio (3)	38
Tabla 1.o: Valores de poder calorífico de algunos combustibles (19)	43
Tabla 2.a: Biodigestor familiar modelo altiplano, desarrollado por la GIZ en Bolivia (3)	61
Tabla 2.b: Biodigestor familiar modelo valle, desarrollado por la GIZ en Bolivia (3)	62
Tabla 2.c: Biodigestor familiar modelo valle, desarrollado por la GIZ en Bolivia (3).....	62
Tabla 2.d: Biodigestor familiar para saneamiento básico de baños, desarrollado por la GIZ en Bolivia (3).....	63
Tabla 2.e: Necesidades típicas según el tipo de entidad solicitante	67
Tabla 2.f: Determinación del modelo adecuado según las condiciones ambientales (3)	68
Tabla 2.g: Materiales y presupuesto estimado para la conducción de biogás de un biodigestor para el altiplano, en La Paz, Bolivia (US\$ 1 = Bs. 7.5, abril del 2008) (3).....	69
Tabla 2.h: Materiales y presupuesto estimado para la cocina de un biodigestor para el altiplano, en La Paz, Bolivia (US\$ 1 = Bs. 7.5, abril del 2008) (3).....	69
Tabla 2.i: Materiales y presupuesto estimado para el reactor de un biodigestor para el altiplano, en La Paz, Bolivia (US\$ 1 = Bs. 7.5, abril del 2008) (3).....	69
Tabla 2.j: Beneficios y contrapartes del biodigestor para el usuario.....	75
Tabla A.a: Producción de biogás por kg de sustrato, para diversos sustratos. Relación C/N. (54)	83

Introducción

El presente documento aspira a aclarar conceptos sobre biodigestores, instalaciones que permiten de producir un combustible, el biogás, y un fertilizante orgánico, el biol, a partir de residuos orgánicos, en particular de estiércol animal. Por tanto esta instalación permite a familias o pequeños productores agropecuarios de disponer de un combustible limpio y de aumentar la productividad de sus cultivos, o de ahorrar en la compra de fertilizante; además, en escalas un poco más grandes el biogás se puede utilizar para generar electricidad.

Se destina a personas que quieren difundir esta tecnología, implementando proyectos de biodigestores en el país. Se mencionarán diferentes tipos de biodigestores existentes en el mundo, entre los más difundidos, y se proporcionarán herramientas de diseño de biodigestores tubulares de plástico, que son actualmente los más difundidos en el Perú y en América Latina.

Además de eso, se darán alcances sobre la difusión de biodigestores en el Perú, en América Latina y en el mundo, con vistas a tener perspectiva sobre este tema e inspirarse en otras experiencias para difundir los biodigestores en el Perú. Se proporcionarán también conceptos en el tema de la capacitación y sensibilización de usuarios en las ventajas y límites de la tecnología, en su manejo y en su mantenimiento.

1. Dimensiones técnicas

1.1. Principios básicos de la tecnología

La digestión anaerobia, o biometanización, es un proceso biológico de degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Este proceso está sacado adelante por bacterias anaerobias bajo ciertas condiciones de composición de la atmósfera – como su nombre lo indica, las bacterias anaerobias sólo pueden sobrevivir en una atmósfera sin oxígeno – y de temperatura, que pueden estar alcanzadas mediante un biodigestor.

Las bacterias anaerobias que toman parte en este proceso son similares a aquellas que se encuentran en los tractos digestivos de los seres humanos y de muchos animales. Además, la digestión anaerobia ocurre naturalmente en diversos medios ambientes como pantanos, marismas, profundidades de los océanos o en los hondos estratos de materias orgánicas que se encuentran en el suelo de selvas tropicales. (1)

El proceso de digestión anaerobia consta tres etapas principales, en aquellas diferentes tipos de bacterias intermedian (2) (véase Ilustración 1.a):

- Etapa hidrolítica-acetogénica: las cadenas largas de la materia orgánica se descomponen en otras más cortas (ácidos orgánicos, alcoholes y nuevas células).
- Etapa acetogénica: se metabolizan alcoholes, ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos en ácido acético, dióxido de carbono CO_2 y dihidrógeno H_2 (deshidrogenación y acetogénesis).
- Etapa metanogénica: las bacterias metanogénicas digieren el dihidrógeno y el ácido acético para transformarlos en metano. (3) Las tasas de crecimiento de las bacterias metanogénicas son cinco veces menores de las de las fases anteriores así que son ellas que limitarán el proceso de degradación anaerobia. También condicionan el cálculo del tiempo de retención y la temperatura de trabajo del reactor (2).

El proceso anaerobio es en general lento: se necesitan varias semanas, hasta dos a tres meses, antes de conseguir una producción estable de biogás. Las materias orgánicas que se pueden digerir de forma anaerobia son varias: excrementos (sea en forma de estiércol o no), residuos vegetales, aguas residuales agroindustriales, etc. Aunque la mayoría de sustratos orgánicos será adecuada, no se recomienda utilizar residuos leñosos. (2)

Las bacterias no pueden crecer en cualquier condiciones ambientales; por su lento crecimiento y alta sensibilidad a variaciones de parámetros, son las bacterias metanogénicas que determinan los rangos adecuados. A continuación se describen los parámetros del entorno que afectan el desarrollo de las bacterias: (2)

- pH y alcalinidad: el pH debe ser estable entre los valores 6.5 y 7.5, que son los valores aceptables por las bacterias metanogénicas. El pH se puede mantener si existe un equilibrio entre las diferentes formas de carbono inorgánico.
- Temperatura: la tasa de fermentación anaeróbica de los sólidos orgánicos y su conversión parcial en biogás dependen directamente de la temperatura interna de operación. El rango de temperaturas posibles cubre los 15°C hasta los 70°C , pero las

mayores eficiencias se obtienen en los rangos mesofílico (30-40°C) y termofílico (50-70°C). En el rango termofílico se asegura además la destrucción de patógenos. (4) (2)

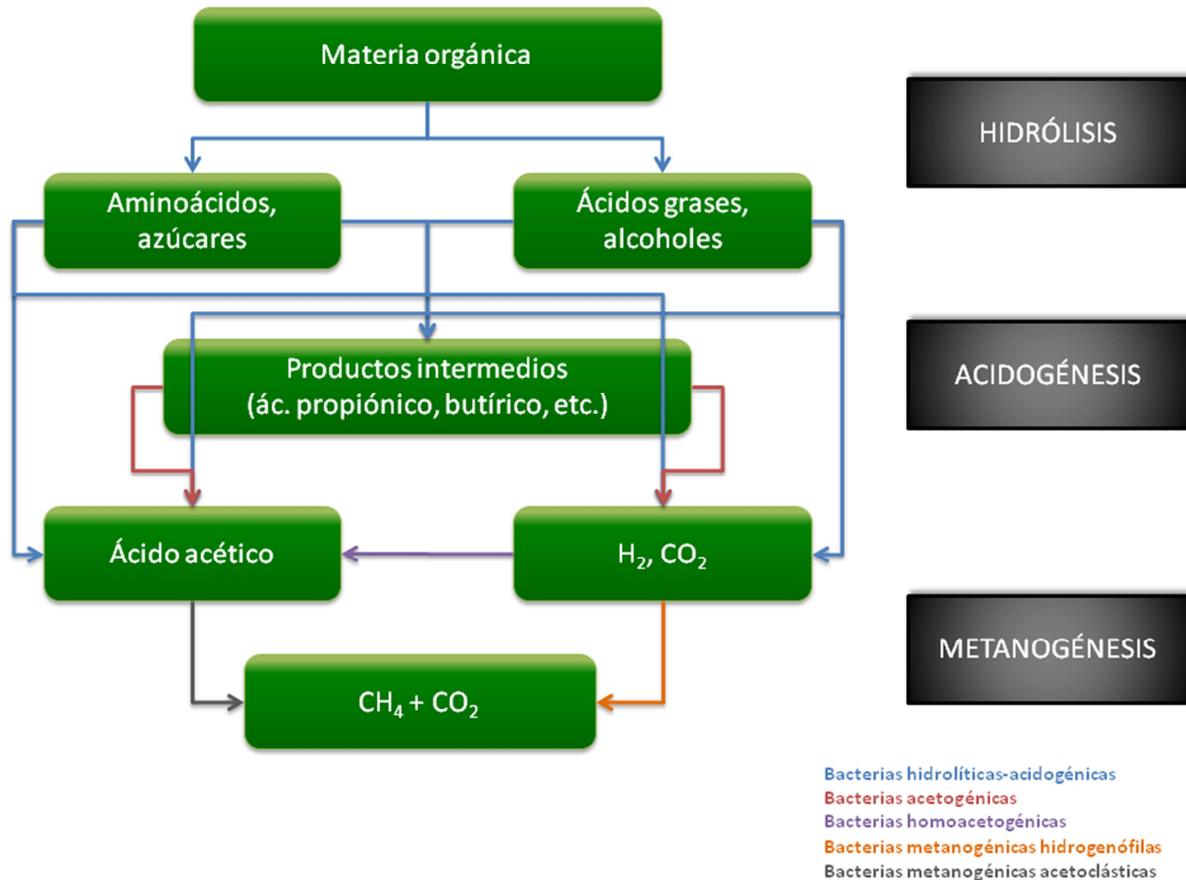


Ilustración 1.a: Digestión anaerobia (2)

- Dioxígeno: no debe entrar aire al biodigestor por su contenido de O₂. Se recuerda que se trata de un proceso anaerobio.
- Tiempo de retención: representa el tiempo que pasa un residuo dentro del biodigestor. Entonces, después de la instalación del biodigestor, se tardará el tiempo de retención antes de que se pueda gozar de los productos del biodigestor. El tiempo de retención depende de la temperatura de trabajo, del mezclado y de la tecnología del biodigestor.
- Nutrientes: el desarrollo de la flora bacteriana requiere una relación adecuada entre nutrientes. Así la relación C/N (entre el carbono y el nitrógeno) debe estar comprendida entre 15/1 y 45/1, con un valor recomendable de 30/1. Para el fósforo P la relación óptima es C/P = 150/1. Véase la Tabla A.a.
- Potencial redox: debe ser suficientemente bajo, entre los -300 y -330 mV.
- Estabilidad, toxicidad e inhibición: para residuos ganaderos, los compuestos críticos son el nitrógeno amoniacal, los antibióticos y los desinfectantes, así como el cobre y el cinc para residuos porcinos. (2)
- DQO / DBO: la demanda química de oxígeno y la demanda biológica de oxígeno representan indirectamente la concentración de materia orgánica en un residuo a través del oxígeno necesario para oxidar químicamente (DQO) o biológicamente (DBO) dicha materia orgánica. (2)

El proceso de digestión anaerobia resulta, según la composición de la mezcla inicial, en la producción de:

- Biogás: mezcla de gas, compuesta de alrededor de 50 a 70% de metano CH_4 , luego de 30 a 40% de dióxido de carbono CO_2 , y de otros gases en pequeñas cantidades como dihidrógeno H_2 , agua H_2O , nitrógeno N_2 , monóxido de carbono CO , dióxígeno O_2 , amoníaco NH_3 y ácido sulfhídrico (o sulfuro de hidrógeno) H_2S . La composición exacta depende del tipo de sustrato. El metano es el único producto que se puede valorizar, mediante cocción, iluminación, calefacción o producción de electricidad.
- Biol: bioabono líquido, que es muy interesante por su proporción de vitaminas y hormonas de crecimiento para vegetales. El biol conlleva partículas sólidas, a veces llamadas biosol.

Durante una digestión anaerobia, bacterias digieren la materia orgánica (estiércol o residuos vegetales). De esta digestión, que se hace en 3 etapas (como 3 pequeñas digestiones), salen 2 productos interesantes que son:

- el biogás: gas compuesto de CH_4 , CO_2 , H_2 , N_2 , H_2O , H_2S y otros. El metano (CH_4) se puede quemar y por tanto el biogás se puede utilizar para cocinar.
- el biol: es un fertilizante orgánico líquido, con muy buenas propiedades para los cultivos.

Condiciones para que se desarrolle la digestión anaerobia:

- ausencia de aire
- temperatura elevada (mayor eficiencia en rangos de 30-40°C y 50-70°C)
- pH entre 6.5 y 7.5
- buena proporción de carbono y de nitrógeno en la materia a digerir

1.2. Biodigestor

1.2.1. Diferentes tipos de biodigestores

En el mundo existen varios tipos de biodigestores diferentes. El desarrollo de esta tecnología ya tiene una historia larga en Asia (véase §2.1.1), donde entonces se diseñaron la mayoría de los modelos. A continuación se mencionan los más conocidos de ellos:

- Tipo chino o cúpula fija
- Tipo hindú o cúpula flotante
- Tipo Taiwán o tubular o “salchicha”
- Media bolsa (más desarrollado en Costa Rica)

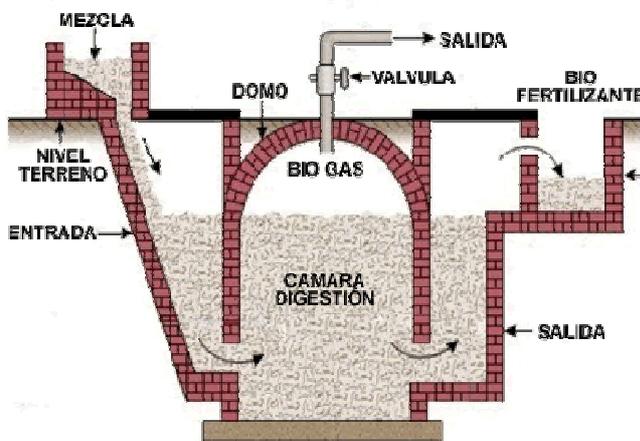


Ilustración 1.b: Tipo chino¹

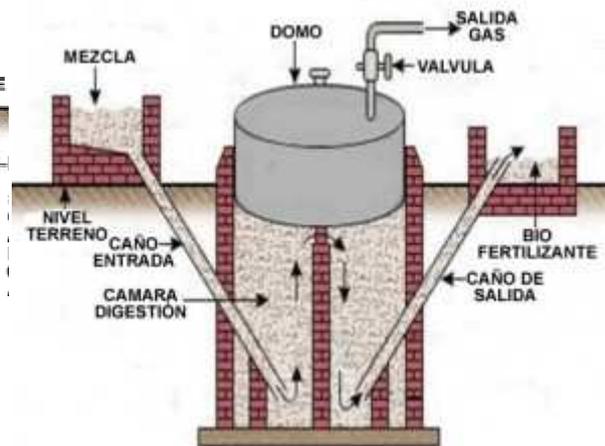


Ilustración 1.c: Tipo hindú²

1.2.1.1. Biodigestor de tipo chino o cúpula fija

Este modelo (véase Ilustración 1.b), que es el más difundido en el mundo (sobre todo en China y en el sureste asiático), fue desarrollado para solucionar el problema sanitario en China. El tamaño mínimo recomendado es de 5 m³, pero existen modelos hasta 200 m³.

La base del biodigestor, que es enterrado, está hecha de ladrillos o concreto y la cúpula fija de concreto; debe ser construido por albañiles profesionales para evitar toda fuga de gas al nivel de la cúpula. El funcionamiento es de tipo *batch* y mezcla (o sea “semi-



Ilustración 1.d: Salida lateral de lodos en la chacra ecológica de Pachacámac (Lima, Perú)

¹ <http://www.energianatural.com.ar/biogas02.html>

² *Ibid.*

batch”) porque se carga de dos modos diferentes: una gran carga anual (*batch*), en la ocasión de la cual también se limpia el biodigestor y se comprueba el estado de la cúpula de concreto, y cargas semanales más pequeñas. Para facilitar la limpieza anual de los lodos a dentro del biodigestor, se puede excavar a su lado una fosa (cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), lo que proporcionará un trabajo menos penoso.

El biodigestor chino funciona en presión variable ya que el objetivo inicial no es producir biogás sino abono orgánico; entonces por las variaciones de la presión la utilización del gas no puede estar siempre eficaz. Cuando empieza la producción de gas, su movimiento hacia la cúpula desplaza el biol hasta el tanque de compensación (parte derecha de la Ilustración 1.b).

El biodigestor de cúpula fija tiene una duración de 20 años por lo menos. (5)

1.2.1.2. Biodigestor de tipo hindú o cúpula flotante

Este biodigestor (cf. Ilustración 1.c) fue desarrollado como consecuencia a la necesidad de buscar nuevas formas de combustibles en India.

Está hecho de un reactor de ladrillas o concreto cilíndrico o en forma de domo, coronado por una cúpula flotante que se desplaza debajo del suelo según un axis vertical: si se produce biogás, la cúpula se desplaza hacia arriba, y si se consume el gas, se desplaza hacia abajo; de esta manera es fácil controlar la cantidad de biogás almacenada en el biodigestor. En general se usa una cúpula de acero, pero también existen modelos con cúpula de plástico reforzado por fibra de vidrio o de HDPE³, pero los costes son más elevados en estos últimos casos. La cúpula flotante debe ser protegida de la corrosión.

El biodigestor trabaja a presión constante y su operación es fácil; se carga diariamente, generalmente con una mezcla de estiércol animal o humano. En el ámbito de una utilización domestica, su tamaño varía en general entre 5 y 15 m³, pero puede alcanzar 100 m³ en grandes fincas agro-industriales. Su duración es más corta que la del biodigestor chino, llegando a 15 años en los casos favorables pero sólo a 5 años en zonas costeras tropicales. (5)

1.2.1.3. Biodigestor de tipo Taiwán o tubular o “salchicha”

Este biodigestor (véase Ilustración 1.e) de material sintético como polietileno (PE) o geomembrana de PVC tiene una forma tubular horizontal y está semienterrado, es decir que está colocado en una zanja. El flujo de materia es horizontal: la mezcla se desplaza horizontalmente de la entrada de la carga a la salida de biol. Es apreciado por su facilidad de operación y su bajo costo, pero su vida útil es más corta que la de los biodigestores de ladrillas o concreto: hasta 5 años en el caso de plástico PE y 10 años con geomembrana de PVC (la geomembrana es más cara que el PE).

1.2.1.4. Biodigestor de tipo media bolsa

Este biodigestor (cf. Ilustración 1.f) tiene un tanque de cemento coronado por una “bolsa” de plástico. Similarmente al biodigestor tubular, funciona en flujo horizontal, y está semienterrado. Si el

³ *High-density polyethylene*: polietileno de alta densidad

cemento es asequible en la región, tampoco es una instalación cara. (6) Existen modelos de pequeño tamaño en Costa Rica (6) y de grandes tamaños, para aplicaciones industriales, en Brasil (7).

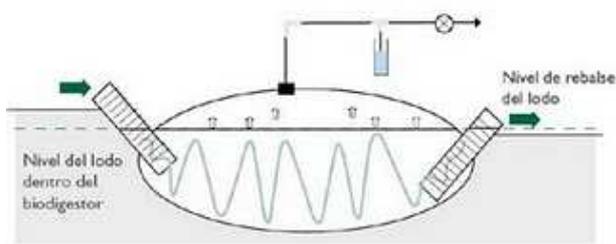


Ilustración 1.e: Tipo tubular (3)

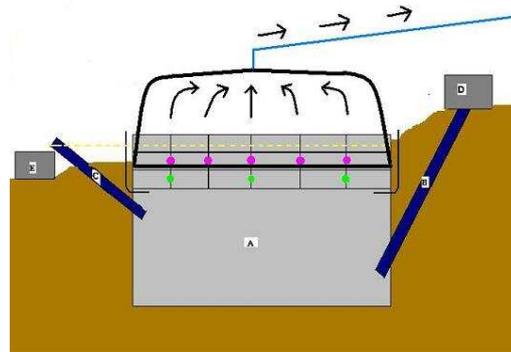


Ilustración 1.f: Tipo media bolsa⁴

1.2.1.5. Resumen

Según varios especialistas del tema en América Latina, el modelo el más adecuado al contexto de esta parte del mundo es el biodigestor tubular de plástico. (8) (3) (4) Será él de que se tratará a continuación del documento.

De hecho, los contextos de implementación en Asia y en América del Sur son bastante diferentes. Existe en Asia desde alrededor de un siglo esta tecnología, por tanto hay millones de biodigestores por el continente. El apoyo político a esta tecnología está fuerte: por ejemplo el gobierno chino subvenciona entre 50% y 100% de cada instalación, según la pobreza del beneficiario, lo que en promedio resulta en un financiamiento de 70% (véase §2.1.1.1). Estas altas subvenciones permiten la instalación de biodigestores de tipo chino, que por su construcción y los materiales y albañiles que necesitan, son más caros que un biodigestor tubular en material sintético. Eso es una de las razones que desfavorecen la implementación de biodigestores de tipo chino en América Latina.

Además, el biodigestor tubular es más resistente a temblores, mientras que las obras de concreto pueden sufrir fracturas en zonas sísmicas. Es también elegido por su flexibilidad (se puede por ejemplo poner un aislamiento adicional en zonas frías), su fácil transporte y su flujo horizontal, que ofrece una mayor eficiencia química y minimiza el riesgo de “corte-circuitos” (o sea de estiércol que ya alcanza la salida antes de ser digerido) por el alejamiento de la entrada y la salida.

Por tanto, a continuación del documento se describirá el modelo tubular de plástico, que es él que tiene las probabilidades de difundirse en América Latina.

1.2.2. Componentes del biodigestor tubular

En la Tabla 1.a se presentan los componentes del biodigestor taiwanés. Además de estos componentes se debe construir una zanja y recubrir su fondo para ayudar a la buena acomodación del reactor y aislarlo térmicamente y de la humedad (cf. §1.3.1.1).

⁴ <http://www.ruralcostarica.com/biodigestor-2.html>

Componente	Opcional?	Definición y/o uso
Reactor	No	Es sencillamente una “bolsa” de plástico, donde se desarrollará el proceso de digestión, que suele ser PE o geomembrana de PVC; ésta es más sólida y por tanto más cara que el PE.
Invernadero	Si	En regiones frías (sierra alta, altiplano) es imprescindible ponerlo para aumentar la temperatura del reactor y garantizar que su interior no hele. Además el invernadero, o carpa solar, protege el plástico del reactor de los dañinos rayos solares UV. Se sujeta el plástico a tapiales mediante palos y ligas.
Tuberías	No	De PVC, conducen el gas del reactor a la cocina o a la instalación que usa el gas.
Válvulas	No	En varios sitios de las tuberías se ponen válvulas. La más importante es la válvula de seguridad, que garantiza una presión más o menos constante en el reactor, impidiendo así que se dañe si el biogás no es utilizado durante un cierto tiempo, y que impide que aire entre al biodigestor.
Reservorio	No	Almacena el biogás producido. Se encuentra cerca de la cocina (o de cualquier instalación que hace uso del biogás) y se debe poner de tal manera que sea fácil darle presión.
Cocina	Si	Si el biogás es utilizado para cocinar, hay que instalar una cocina, que puede ser de metal (en general una cocina a gas de bombona adaptada al biogás) o de arcilla con un quemador metálico.
Manómetro	Si	Puede ser construido artesanalmente, sirve a controlar la producción de biogás.

Tabla 1.a: Componentes del biodigestor tubular

Además se debe construir una zanja y recubrir el fondo de una hoja de plástico que ayuda a la protección y al aislamiento (de la temperatura y de la humedad) del reactor, lo que favorece disminuir del tiempo de retención.

1.2.3. Definición de características

1.2.3.1. Medidas físicas

No hay muchas medidas físicas que hacer. Sólo se debe conocer más o menos la temperatura del medio ambiente, o sea el tipo de región donde se instalará el biodigestor (sierra alta o altiplano, valle, trópico). El trópico es el medio natural del biodigestor, ya que la temperatura de trabajo ideal puede estar alcanzada fácilmente en esas regiones. La difusión de los biodigestores empezó en países tropicales; la mayor temperatura implica menor tiempo de retención, por tanto menor tamaño del biodigestor y menores costos.

La tabla siguiente muestra para diferentes tipos de regiones que pueden estar identificados en los países andinos las temperaturas ambiente y de trabajo del biodigestor.

Región	Temperatura ambiente	Temperatura de trabajo	Altura sobre el nivel del mar (m)
Altiplano o sierra alta	-12 a 20°C	6-16°C <i>(con invernadero)</i>	2900-4500
Valle	5-30°C	15-20°C	1800-2900
Trópico	13-38°C	25-30°C	0-1800

Tabla 1.b: Temperaturas según el tipo de regiones (3) (9)

En los biodigestores instalados en la bahía de Cohana en Bolivia (3800 msnm), la temperatura de trabajo en el reactor está en promedio de 15°C y varía entre 12 y 16°C, o sea, más o menos la temperatura del suelo (9), ya que éste tiene una gran inercia térmica.

1.2.3.2. Reactor

1.2.3.2.1. Estimación de la carga diaria disponible

Se mencionó en el párrafo 1.1 que se podían utilizar varios tipos de materia orgánica para cargar el biodigestor, pero en ningún caso residuos leñosos o con cascarras duras, o residuos que tienen una larga duración de descomposición como vísceras. Entonces en general se considera utilizar estiércol y a veces otros residuos agrícolas.

Cada tipo de estiércol tiene diferentes propiedades:

- El estiércol de cerdo y de humano son los que producen más biogás, pero como no son herbívoros el biol que producen es muy ácido, y en el caso humano tiene patógenos (coliformes), lo que limita su uso (cf. §1.4.1).
- El estiércol de vaca es el más equilibrado, con todas las bacterias necesarias al proceso de digestión; además es el animal que produce las cantidades más grandes (cf. Tabla 1.c), lo que da más facilidad para hacer la recogida.
- El estiércol de cuy parece también ser una buena posibilidad, porque el biogás generado contiene más metano que con el estiércol de vaca, o sea más horas de cocina; pero como es un estiércol duro que no se mezcla bien con el agua, es recomendable preparar un precompost para aumentar la humedad. (10)

Para profundizar en el tema...

En la finca ecológica de los Ing. agrónomos Ulises Moreno y Carmen Felipe Morales en Pachacámac, utilizan para cargar anualmente el biodigestor tipo chino una mezcla de compost de maíz con estiércol de cuy en proporciones de respectivamente 400 kg y 600 kg, para alcanzar una relación C/N de 30; añaden también líquido digestivo de vacuno (conseguido en mataderos) como activador, o sea para proporcionar las bacterias necesarias (también se podría utilizar biol fresco). Las cargas semanales cuentan solamente estiércol de cuy con agua. (11)

Es muy importante saber antes de diseñar el biodigestor si el ganado está pastoreado o tabulado. De hecho, si está pastoreado, no se podrá recoger todo el estiércol sino sólo una fracción de ello.

Para un ganado pastoreado que duerme la noche en un establo, se puede considerar que se podrá recoger sólo el 25% del estiércol producido diariamente (proporción “conservadora”⁵).

Por ejemplo, una vaca de 300 kg pastoreada produce diariamente 24 kg de estiércol, pero sólo se podrán recoger 6 kg. (3)

Origen del estiércol	kg de estiércol fresco diario producido por cada 100 kg de peso del animal	Características cualitativas
Cerdo	4	Produce mucho biogás Biol muy ácido Digestión demora más que para el estiércol de vaca (9)
Vacuno	8	Estiércol equilibrado Cada animal produce mucho estiércol: más fácil recogerlo Proporción de CH ₄ en el biogás: 45-55% (10)
Caprino, ovino	4	
Conejo, cuy	3	Produce biogás con gran proporción de CH ₄ (60-70%) (10) Se recomienda preparar compost con el estiércol para que sea más fácil a utilizar
Equino	7	
Humano adulto	0.4 kg por adulto	Produce mucho biogás Biol muy ácido y con coliformes
Humano niño	0.2 kg por niño	Produce mucho biogás Biol muy ácido y con coliformes

Tabla 1.c: Características del estiércol según la origen del estiércol (3)

Para realizar la mezcla que se va a cargar en el biodigestor, es también necesario disponer de cantidades suficientes de agua. Efectivamente, en el caso de biodigestores tubulares, se debe mezclar el estiércol con el agua en proporciones volúmicas 1:4 (es decir: 1 parte de estiércol y 4 partes de agua), a la excepción notable del estiércol de vacuno para lo cual basta una mezcla 1:3. Una buena dilución del estiércol asegura que el funcionamiento del biodigestor sea bien de flujo continuo, evitando que se atasque por acumulación de materia sólida. El agua utilizada no debe contener cloro, que mataría las bacterias útiles para el proceso; así, si el agua es potable, se debe dejar descubierta unas horas hasta que se evapore el cloro.

Si se dispone de suero de leche de vaca, es bueno substituir parte del agua con este suero, que da muy buenos resultados en la producción de biogás (3). También en caso haya un matadero cerca, se puede añadir contenido de rumen de vacuno (contenido gástrico).

A recordar...

Cada tipo de sustrato orgánico o de estiércol tiene características distintas, que lo hacen más o menos adecuado para la generación de biogás y biol. El estiércol de vacuno conlleva todas las

⁵ O sea, que no toma riesgos

bacterias necesarias para el proceso, así que aunque no sea el que produce más biogás, es el más equilibrado de todos y da más facilidad en el manejo, ya que no hay que hacer mezclas preparatorias para alcanzar una composición química apropiada.

Carga = estiércol + agua sin clorar en proporción 1:3 en el caso del estiércol de vacuno y 1:4 en otros.

Es muy importante conocer si el ganado está pastoreado o tabulado, porque esto determinará la cantidad de estiércol que se podrá recoger fácilmente. Así, tomando un margen de seguridad, se considera que con un ganado pastoreado y tabulado sólo de noche, se puede recoger el 25% del estiércol diario.

1.2.3.2.2. Tiempo de retención

El proceso de digestión de anaerobia es una transformación lenta que tiene una cierta duración. En el diseño del biodigestor se busca acercar lo más posible el tiempo de retención, o sea el tiempo que pasa el estiércol en el reactor antes de salir digerido en estado de biol, de esta duración. Entonces está directamente relacionado con la actividad de las bacterias (cuanto más actividad bacteriológica, más rápida será la degradación de las materias orgánicas y por tanto menor el tiempo de retención). Como la actividad de las bacterias crece con la temperatura ambiente (§1.1), el tiempo de retención es inversamente correlacionado a ella, como se nota en la Tabla 1.d. La temperatura ambiente depende naturalmente de la región de ubicación del biodigestor. (3)

Región característica	Temperatura (°C)	Tiempo de retención (días)
Trópico	30	20
Valle	20	30
Altiplano / sierra alta	10	60

Tabla 1.d: Tiempo de retención según temperatura (3)

Sin embargo, el residuo líquido que sale del biodigestor después de este tiempo de retención (en la Tabla 1.d) no está totalmente digerido. Ya es un fertilizante muy bueno, pero se investigó que si se aumenta el tiempo de retención en un 25%, como en la Tabla 1.e, es excelente (3). La contraparte es que para aumentar el tiempo de retención se necesita un reactor más grande, por tanto más material, lo que resulta más costoso.

Región característica	Temperatura (°C)	Tiempo de retención (días)
Trópico	30	25
Valle	20	37
Altiplano / sierra alta	10	75

Tabla 1.e: Tiempo de retención según temperatura para mejor fertilizante (3)

Las cifras de tiempos de retención proporcionadas en las tablas son aproximadas, ya que también dependen del tipo de materia prima introducida en el reactor: por ejemplo, la digestión del estiércol de chanco necesita más tiempo que la del estiércol de vaca. Entonces, se puede adaptar el modelo de biodigestor según el tipo de estiércol; por ejemplo, si un productor de chancos en el

valle quiere construir un biodigestor, habría que poner un biodigestor de tipo altiplano (o sea de mayores dimensiones), para aumentar el tiempo de retención (9).

1.2.3.2.3. Volumen del reactor

Es el volumen líquido V_L del reactor, o sea el volumen del líquido presente en el reactor, que determina el volumen total del reactor, ya que aquello parámetro depende del tiempo de retención y de la carga diaria (expresada en L o m^3):

$$V_L = \text{carga diaria} \cdot \text{tiempo de retención} \quad (1.1)$$

El biogás producido durante el proceso de digestión se acumula lógicamente en la parte superior del biodigestor, donde va formar una campana de biogás. Se suele considerar un volumen gaseoso V_G (volumen de la campana de gas) de un tercio del volumen líquido:

$$V_G = \frac{V_L}{3} \quad (1.2)$$

Entonces el volumen total V_T vale:

$$V_T = V_L + V_G = \frac{4}{3} \cdot V_L \cong 1.33 \cdot V_L \quad (1.3)$$

Estas fórmulas pueden ser aplicadas en diferentes métodos de diseño, siendo siempre conocido el tiempo de retención, determinado por la ubicación (cf. Tabla 1.d y Tabla 1.e):

- Conociendo la carga diaria: según la disponibilidad de estiércol

En este caso se utilizan las ecuaciones precedentes en la orden en la cual están enunciadas.

- Conociendo el volumen gaseoso: según las necesidades de biogás

Se evalúa el número de horas de cocción con biogás necesarias diariamente. Si se conoce el volumen de gas consumado por hora por el quemador (suele ser 140 L por hora (3)), se calcula, multiplicando estas dos cifras, el volumen de biogás consumido diariamente, que debe ser el volumen almacenado en la campana diariamente, V_G .

Luego se cuenta el peso de estiércol a cargar diariamente para alcanzar este volumen, dividiendo V_G por las cifras de la Tabla 1.g. Conociendo el peso de estiércol y la proporción en la cual se mezcla con agua, se puede deducir el volumen de la carga diaria, y luego V_L gracias a la ecuación 1.1. Con la ecuación 1.3 se calcula el volumen total del reactor.

- Conociendo el volumen total del biodigestor: según el espacio disponible para la instalación del biodigestor

Si el espacio para colocar el biodigestor se encuentra limitado, conociendo el volumen total V_T del futuro biodigestor a instalar, se puede calcular V_L mediante la ecuación 1.3, y luego el volumen de la carga diaria gracias a la ecuación 1.1.

A recordar...

Para calcular el volumen de líquido en el biodigestor se multiplica la carga diaria (L o m^3) con el tiempo de retención (días). Como el volumen de la campana de gas debe ser un tercio del volumen líquido, se calcula fácilmente el volumen total: $V_T = V_L + V_G = \frac{4}{3} \cdot V_L = 1.33 \cdot V_L$

Estas fórmulas pueden ser utilizadas en una orden diferente según los requerimientos y limitaciones del proyecto: según la disponibilidad de estiércol, según las necesidades de biogás, según el espacio disponible para colocar el biodigestor.

1.2.3.2.4. Producción de biogás diaria

La mezcla introducida en el biodigestor produce biogás poco a poco, al largo del proceso de digestión. La cantidad de biogás producida depende de la proporción de sólidos volátiles (SV) y por tanto de la proporción de sólidos totales (ST) en la mezcla. Los ST representan la cantidad de materia que permanece como residuo seco después de una evaporación, entre 103 y 105°C, mientras que los SV se definen como la fracción de ST que se volatiliza a una temperatura de 600°C (12); más sencillamente representan la parte de los sólidos totales de la materia que están sujetos a pasar a fase gaseosa.

En general, el estiércol fresco tiene una proporción de 17% de sólidos totales (puede variar entre 13 y 20%). En cuanto a los sólidos volátiles, representan aproximadamente el 77% de los sólidos totales.

Ganado	Factor de producción	Factor general de producción
Cerdo	0.25-0.50	0.39
Vacuno	0.25-0.30	0.27

Tabla 1.f: Factor de producción de biogás relativamente a los sólidos volátiles (3)

Entonces, conociendo la cantidad de estiércol introducido en el biodigestor, es posible estimar la producción de biogás:

Sean P_{Bg} la producción diaria de biogás por el biodigestor, en m^3 , y f_{PGen} el factor general de producción.

$$P_{Bg} = f_{PGen} \cdot SV \quad (1.4)$$

Como $SV = 0.77 \cdot ST$, tenemos:

$$P_{Bg} = 0.77 \cdot f_{PGen} \cdot ST \quad (1.5)$$

Además, como hay 17% de ST en el estiércol fresco, si M_{es} es el peso (en kg) de estiércol introducido diariamente en el biodigestor:

$$P_{Bg} = 0.77 \cdot f_{PGen} \cdot 0.17 \cdot M_{es} = 0.131 \cdot f_{PGen} \cdot M_{es} \quad (1.6)$$

En el caso del estiércol de cerdo, tenemos entonces:

$$P_{Bg} = 0.131 \cdot 0.39 \cdot M_{es} = 0.0511 \cdot M_{es} \quad (1.7)$$

Y en el caso del estiércol de vacuno:

$$P_{Bg} = 0.131 \cdot 0.27 \cdot M_{es} = 0.0353 \cdot M_{es} \quad (1.8)$$

Para no hacer estos cálculos cada vez, se pueden resumir en la siguiente tabla:

Ganado	Litros de biogás producidos diariamente por kg de estiércol fresco cargado
cerdo	51.1
Vacuno	35.3

Tabla 1.g: Volumen de biogás en litros⁶ producido diariamente por cada kg de estiércol fresco cargado

Aquí son datos sobre el estiércol de cerdo y de vacuno. Si se quisiera conocer los datos de producción de biogás de otros tipos de estiércoles, se deberían realizar experimentos a pequeña escala para poder determinar estos parámetros. También se puede referir a la Tabla A.a, que da una cantidad de biogás producido por kg de desecho orgánico introducido, pero es sólo una horquilla.

Los animales que poseen las bacterias necesarias al desarrollo del proceso de metanización son los poligástricos como los vacunos. Entonces, si se utiliza otro tipo de materia prima orgánica que el estiércol de poligástrico, se recomienda añadir el contenido ruminal (del rumen) para iniciar el proceso. Una vez empezado éste, se sugiere añadir cada cierto tiempo estiércol de vacuno para estabilizar el proceso.

1.2.3.2.5. Material

Como ya fue mencionado, el reactor es hecho de plástico tubular, que puede ser el polietileno o la geomembrana de PVC. Cualquier tipo sea elegido, el plástico tubular no se puede encontrar en cualquier mercado, sobre todo la geomembrana de PVC (más sólida y más cara que el PE).

En el caso del PE tubular, se debe pedir de 300 micrones (μm) de grosor, aunque se fabrica en 200 μm para el uso en carpas solares. Además se debe pedir un color “negro humo” y no transparente, porque se ha notado una mejor resistencia a los rayos solares. Este material se vende en rollos de 50 m, con anchos de rollo fijos, que varían en general entre 1, 1.25, 1.50, 1.75 y 2 m. El ancho de rollo equivale a la mitad de la circunferencia total del plástico y va a determinar el diámetro y radio del biodigestor. (3)

Ancho de rollo (m)	Circunferencia (m)	Radio (m)	Diámetro (m)	Sección eficaz (m^2)	Longitud del biodigestor (m)
1	2	0.32	0.64	0.32	$V_T/0.32$
1.25	2.5	0.40	0.80	0.50	$V_T/0.50$
1.50	3	0.48	0.95	0.72	$V_T/0.72$
1.75	3.5	0.56	1.11	0.97	$V_T/0.97$
2	4	0.64	1.27	1.27	$V_T/1.27$

Tabla 1.h: Parámetros geométricos según el ancho de rollo del PE tubular (3)

⁶ 1000 L (litros) = 1 m^3 (metros cúbicos)

La geomembrana de PVC tiene un grosor de 500 μm . Existen empresas que venden biodigestores de geomembrana prefabricados (por ejemplo CIDELSA con su modelo DELTABIOGAS). En el caso que se fabrica artesanalmente, se usará una sola capa.

Otra alternativa es el caucho (goma natural); tiene como ventajas de ser natural (a la diferencia del PE o del PVC), alta durabilidad y que se puede pedir la forma deseada. Pero tiene poca disponibilidad en el mercado, y sólo en algunas regiones. (3)

Si realmente es difícil conseguir el PE tubular de color “negro humo”, se podría volver a utilizar el PE tubular normal de carpas solares que se encuentra en cualquier mercado (200 μm , sin pigmentación), pero para incrementar la resistencia a la radiación solar, se debería, por ejemplo, cubrir la campana de gas del biodigestor con telas de viejos sacos. (3)

Para determinar las cifras de la Tabla 1.h, recuerde que las fórmulas a conocer son:

$$C = 2A_R \quad (1.9)$$

$$C = 2\pi r \text{ entonces } r = \frac{C}{2\pi} \quad (1.10)$$

$$d = 2r \quad (1.11)$$

$$S = \pi r^2 \quad (1.12)$$

$$V_T = S \cdot L = \pi r^2 L \quad (1.13)$$

Donde C es la circunferencia de la manga de plástico, A_R es el ancho de rollo, r el radio de la manga, d su diámetro, S su sección eficaz, L la longitud del reactor y V_T su volumen total.

Según la Tabla 1.h, conociendo el volumen total del biodigestor (cf. §0), existen varias posibilidades de diseño para alcanzar este volumen. Sin embargo, en la realidad no convienen todos los tipos de biodigestores: no deben ser demasiado largos ni cortos para favorecer el mejor flujo de la materia de la entrada del biodigestor hasta la salida. Se investigó (3) que existe una relación óptima entre la longitud y el diámetro del reactor que es 7.

$$\frac{L}{d} = \text{entre 5 y 10 (óptimo de 7)} \quad (1.14)$$

Entonces cuando se diseña un biodigestor, se debe calcular, para cada ancho de rollo de PE tubular disponible en el mercado, la relación entre la longitud y el diámetro del reactor, y escoger el ancho de rollo para lo cual la relación acerca más el valor óptimo de 7.

Para más solidez, se recomienda fabricar el reactor con doble capa, entonces se debe prever la cantidad de PE necesaria.

Diferentes materiales se adecuan a la fabricación de un biodigestor tubular: PE tubular, geomembrana de PVC, caucho.

Un biodigestor de polietileno tubular se fabricará con dos capas de plástico, para más solidez. Se debe pedir fabricado el PE tubular en 300 μm de grosor (más sólido que el PE tubular común de 200 μm) y de color “negro humo”, porque el plástico de este color resista mejor a la radiación solar.

El PE tubular está disponible en diferentes anchos de rollo; se debe elegir el más adecuado tratando de acercarse de una relación óptima de 7 entre la longitud del reactor y su diámetro.

1.2.3.2.6. Dimensiones de la zanja

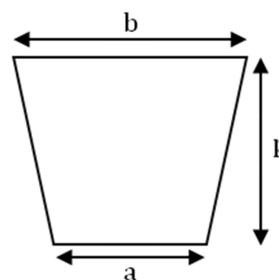
Antes de lanzarse en la construcción del biodigestor, se debe excavar una zanja para colocarlo; en regiones frías deberá ser orientada según una dirección oeste-este para aprovechar al máximo la radiación solar, lo que es menos importante en regiones de trópico o valle, ya que la radiación solar directa no juega un papel importante en el calentamiento del biodigestor, sino más bien la radiación solar que calienta el suelo donde está colocado el biodigestor. Para ello primero tiene que diseñar también la zanja; claramente, las dimensiones de la misma dependen de las dimensiones del reactor y por tanto del ancho de rollo.

Por razones de estabilidad, se recomienda excavar una zanja en forma de “chaflán” (forma trapezoidal con paredes inclinadas en forma de “V”); esta forma constituye un buen compromiso entre la aproximación de la forma del biodigestor (redonda) y la estabilidad de la zanja.

No es trivial calcular las dimensiones óptimas de la zanja para cada ancho de rollo (), entonces se da directamente el resultado aquí:

A_R (m)	1	1.25	1.50	1.75	2
a (m)	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
b (m)	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
p (m)	0.6	0.7	0.8	0.9	1

Tabla 1.i: Dimensiones de la zanja según el ancho de rollo (3)



1.2.3.2.7. Resumen

En este párrafo sobre el diseño del reactor se ha probablemente notado que se utilizan varios parámetros pero en una cierta orden. A continuación se sintetiza en un esquema este proceso:

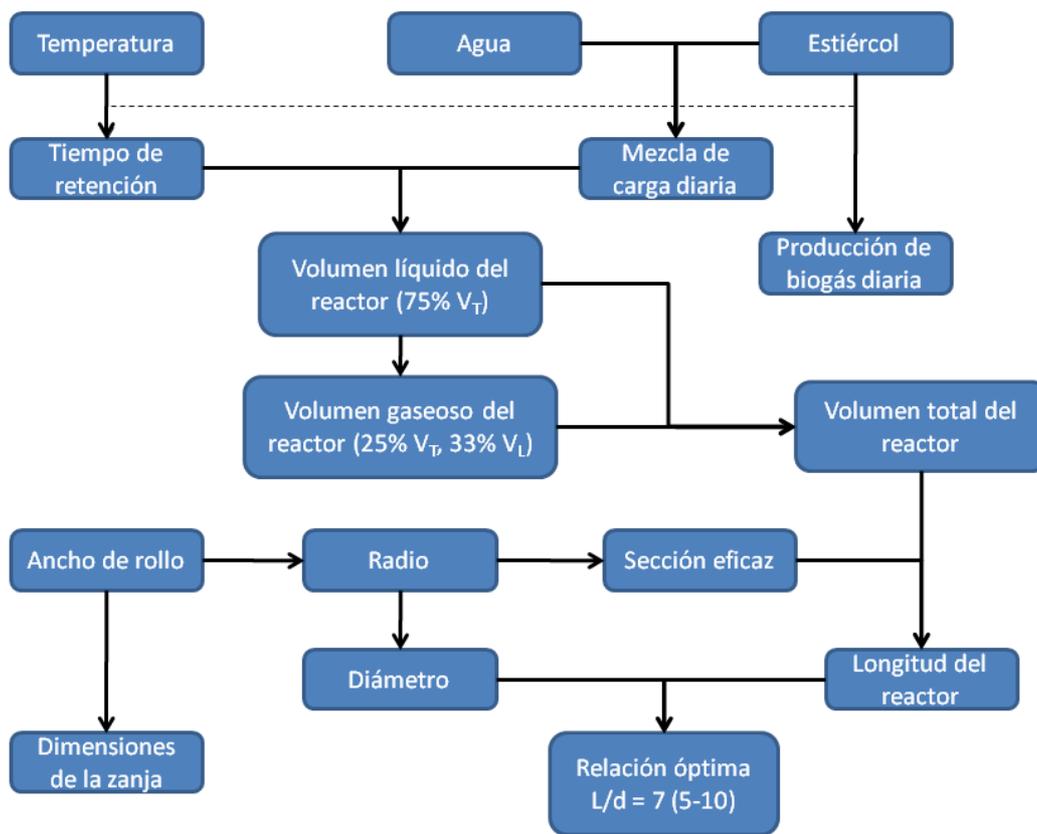


Ilustración 1.g: Metodología de diseño del reactor del biodigestor (3)

1.2.3.3. Invernadero

En regiones con noches de helada, es necesario que el biodigestor esté protegido por un invernadero, o carpa solar, y aguantado sobre dos tapiales de 40 cm de ancho hechos de adobe. (3) El tamaño de la carpa depende de las dimensiones del reactor.

La carpa solar y los tapiales protegen el PE del reactor de la radiación solar que, si llega directamente al plástico, lo daña. Entonces será la carpa solar que recibirá los rayos UV y que se dañará antes por acción de ellos. Sin embargo, en Bolivia hay numerosos ejemplos de carpas solares que, bien cuidadas, sobre todo contra la acción del viento – manteniéndolas tensas –, llegan a durar hasta una decena de años. (3) Los tapiales acumulan el calor de efecto invernadero, manteniendo así el interior del biodigestor a una temperatura por encima de cero, cuyo valor es más o menos la temperatura del suelo.

Durante visitas en el Perú y en Bolivia, se observaron dos tipos de invernaderos:

- Invernadero a un agua: es el menos costoso de los dos tipos. La pendiente debe estar orientada lo más posible al sol (o sea, al norte en el hemisferio sur).
- Invernadero a cúpula: experiencias en Cajamarca mostraron que el invernadero a cúpula favorecía mucho la producción de biogás (10). Pero según Jaime Martí Herrero (9), el invernadero sirve básicamente para lograr un efecto tampón y ganar 2 o 3°C pero no

más. De hecho, el gas en la cúpula alcanza temperaturas altas pero no sería el caso del líquido y del sólido más abajo.



Ilustración 1.h: Invernadero de un agua en el altiplano (Bolivia) (9)



Ilustración 1.i: Invernadero de cúpula en los Baños del Inca, Cajamarca (13)

Material:

- La carpa solar está hecha de PE tubular común, que se puede conseguir en cualquier mercado, de 200 μm de espesura y de color transparente.
- Palos redondos o planos de 2 m de longitud, que estarán colocados de tapial a tapial, uno por metro de longitud del biodigestor
- Ligas de neumáticos y clavos para asegurar la carpa solar contra el viento
- Adobe para construir los tapiales

En una región de tipo valle, no es necesario aprovechar el efecto invernadero mediante una carpa solar, ya el biodigestor es calentado por el suelo y no por la radiación directa; sin embargo, como es importante instalar el biodigestor en un sitio soleado para que los rayos solares calienten el suelo donde está cavada la zanja del biodigestor (es más bien el suelo que calienta el reactor), se debe proteger el biodigestor del sol por una semisombra o techumbre. En una región tropical no existen limitaciones en la ubicación del biodigestor; se escogerá entonces según la facilidad de construcción, pero es imprescindible protegerlo de la radiación solar mediante una techumbre. (3)

1.2.3.4. Tuberías y válvulas

“Pasamuros” o flanges

En algunos países este material es un poco difícil de encontrar. Se trata del accesorio de conducción que atraviesa la doble capa del biodigestor para conducir el biogás al exterior: tiene una parte macho y una parte hembra, con discos sólidos a modo de tuercas. El macho atraviesa las capas del biodigestor y la hembra se enrosca por encima. Para que el sellado sea hermético, se emplearán discos de goma (que puede provenir de cámaras de ruedas de carros), que irán colocados entre los discos del “pasamuros” y la doble capa de plástico, aprisionándola entre ellos. (3)

Pero si no se lograra conseguir flanges en la región, se podrán fabricar con materiales locales (cf. §1.3.1.2.2).

Tubos de entrada y salida

Los tubos de entrada y salida del biodigestor son tuberías de 6" de desagüe y de 1 m de longitud cada uno, normalmente en PVC. El amarre entre ellas y el PE tubular se hace con ligas (hechas de neumáticos) de 3 cm de ancho.

Conducción de biogás

Para la conducción de biogás se emplea tubería de riego de ½", en PVC, PED o politubo. La cantidad depende de la distancia entre el reactor y el reservorio y entre éste y la cocina.

Además se utilizan codos y "tees" de plástico (PVC); la "tee" es una conexión en forma de la letra T. Se recomienda que las llaves sean de bola, ya que las otras están pensadas para conducciones de riego y no serán totalmente herméticamente cerradas para el biogás. (3)

Válvula de seguridad

La válvula de seguridad es un elemento muy importante que garantiza una presión constante en el biodigestor y que proporciona una salida de emergencia al biogás, evitando así al biodigestor de explotar, o al menos de dañarse, en el caso que fuera demasiado lleno.

Se hace sencillamente con una botella de refresco, una "tee", un trozo de tubería de plástico, y agua.

1.2.3.5. Reservorio

El tanque de reservorio de biogás tiene dos papeles:

- almacenar el biogás,
- aumentar la presión en caso de que está descienda, así facilitando el uso del biogás.

El reservorio se fabrica de PE tubular común, como el invernadero. Similarmente al reactor, se unen dos mangas de plástico para aumentar la robustez. Se necesitan un "pasamuro" por tanque de reservorio, ligas de neumáticos para amarrar las extremidades de la manga, y los materiales siguientes según la posición del o de los tanque(s):

- si está colocado horizontalmente: una cinta de liga de neumático para poder darle presión cuando fuera necesario
- si está colocado verticalmente:

Durante una visita en Pachacámac, se notó que el excedente de biogás estaba almacenado en neumáticos de camión o de tractor, pero eso no ofrece mucha facilidad en el uso del biogás; es más bien para constituir un depósito para un uso futuro. (11)

1.2.3.6. Cocina

La cocina servirá a utilizar el biogás para calentar y cocer alimentos. Se puede utilizar una cocina metálica de gas, que normalmente funciona con gas de alta presión, adaptándola al biogás que tiene una presión mucho más baja (véase el §0).

También se puede fabricar una nueva cocina con el material siguiente (cf. §0 para la construcción):

- tuberías de hierro de ½" y codos metálicos para fabricar los fogones
- tuberías, tee y codo de PVC para conducir el biogás hacia los fogones
- barro y adobe para fabricar las estructuras que sustentarán las ollas.

El quemador utilizado también se puede conseguir en el mercado. En el ámbito del proyecto EnDev de la GIZ en Bolivia, fue estudiada la eficiencia de 24 modelos de quemadores disponibles; resultó más eficiente el quemador de 3 líneas (pero consume un poco más gas que los otros modelos). La cocina ilustrada en la Ilustración 1.j no está totalmente terminada, pero se nota que debajo del quemador está una llanta de rueda; se pueden utilizar muchos materiales de basura.



Ilustración 1.j: Cocina de biogás con llanta y quemador de 3 líneas

1.2.3.7. Resumen

En regiones frías se debe cubrir el biodigestor con un invernadero soportado por tapias, que lo proteja de la radiación solar directa y que acumule calor de efecto invernadero. Está hecho de PE tubular común, o sea transparente, de espesor 200 µm. Puede ser a un agua (menos costoso) o a cúpula. En otras regiones no es necesario poner un invernadero, más bien sólo proteger el biodigestor de la radiación solar directa.

Si no se encuentra el componente ("pasamuros") para realizar la salida de biogás del reactor, se puede fabricar.

Es importante poner después de la salida de biogás una válvula de seguridad, que garantiza una presión constante, evitando daños en el plástico del reactor, si el biogás no hubiera sido quemado. En cuanto al reservorio de biogás, sirve a almacenar éste y a aumentar su presión, facilitando su uso; está hecho también de PE tubular, el más común.

Para la cocina, se puede adaptar una cocina a gas normal o fabricar una nueva.

1.2.4. Normas

No existen normas técnicas de construcción de los biodigestores. Pero algunas instituciones, como por ejemplo la GIZ con el trabajo de Jaime Martí Herrero, han propuesto diseños de biodigestores; en el caso de la GIZ, fueron desarrollados tres diseños de biodigestores diferentes, uno para el altiplano, uno para el valle y otro para el trópico. Si uno desea utilizar uno de estos modelos,

puede aplicar las dimensiones propuestas por Jaime Martí en su guía de diseño (2008) (3). Este trabajo sigue en investigación; así como ya se mencionó, la próxima evolución en el diseño del biodigestor para el altiplano será de cambiar las dimensiones en 7 m de longitud y 2 m de ancho de rollo, lo que mejorará el tiempo de retención, para llegar a 80 días. (9)

1.3. Construcción e instalación

Antes de construir e instalar su primer biodigestor, se recomienda mirar el video de un taller en Bolivia sobre este tema, muy bien realizado por la GIZ (14). Además en la página web de Jaime Martí Herrero se encuentran otros videos e informaciones (15).

Material	Uso
Paja o arena	Para el fondo de la zanja
Sacos o plásticos viejos	Para las paredes de la zanja
Lana de acero (bombril, estropajo, virutas)	Para el filtro a H ₂ S
Alambre de amarre y estacas	Para fijar las tuberías de entrada y salida
Palos de 2 m de madera	Para el invernadero en altiplano / sierra alta
Clavos	Para fijar los sacos a las paredes de la zanja, y el invernadero

Tabla 1.j: Materiales adicionales que no tienen costo específico (3)

Material	Precio US\$
Tarraja ½"	5.19
Serrucho	6.67
Tijera	9.09
Llave "estilson" #10	19.48
Selladora manual plástico (30 cm)	26.67
Manguera transparente para nivel (12 m)	3.12

Tabla 1.k: Precio de herramientas para instalación de biodigestores en la ciudad de La Paz, Bolivia, en abril del 2008 (US\$ 1 = Bs. 7.5) (3)

1.3.1. Construcción del biodigestor

1.3.1.1. Zanja

El biodigestor debe ser instalado en un punto intermedio entre la cocina y el lugar donde duerma el ganado para facilitar la recogida de estiércol fresco cada mañana y para ahorrar las tuberías necesarias a la conducción del biogás; se recomienda no ponerlo a más de 25 m de la cocina. La zanja del biodigestor no deberá interrumpir el camino de animales o personas. (3)

En regiones frías del hemisferio sur, la longitud del biodigestor debe estar orientada en la dirección este-oeste y la pendiente del invernadero al norte para aprovechar la radiación solar de manera óptima. En el valle, sólo se deberá cuidar que el biodigestor esté ubicado en una zona soleada, ya que la radiación solar ayudará a calentar el terreno alrededor de la zanja (calentamiento indirecto del biodigestor); en el trópico, la temperatura ambiental es suficiente para calentar el biodigestor, pero no se debe olvidar cubrirlo con una techumbre, como ya se mencionó en el §1.2.3.3.

El biodigestor no debe estar debajo de arboles y mejor tampoco cerca de unos, ya que con el viento ramas podrían caer hasta él y dañar el plástico.

Una vez ubicado el lugar donde estará el biodigestor, se debe cavar una zanja; las dimensiones de la zanja dependen de las dimensiones del biodigestor y por tanto del ancho de rollo del polietileno tubular escogido (véase §1.2.3.2.6). Ya se mencionó que por razones de estabilidad, la zanja tendrá que tener forma de chaflán (cf. Ilustración 1.m). Si el suelo se encuentra infelizmente demasiado duro de cavar, habrá que levantar tapiales, tratando de mantener esta forma. También hay que cavar canales para los tubos de entrada y salida, inclinados de 45° relativamente a las paredes transversales.

Es preferible que la zanja no tenga desnivel, aunque se permite hasta un 5% de desnivel. Una vez excavada, se quitarán las raíces o piedras que asomen a la zanja, para evitar que dañen al biodigestor. Además se forrarán las cuatro paredes de la zanja con telas de viejos sacos o con viejos plásticos de carpas solares, de manera que el PE no se dañará al rozarse con las paredes cuando el reactor se esté colocando. El fondo se forrará o rellenará con las mismas telas viejas o plásticos, arena fina de río o paja, para que el biodigestor se acomode bien, sin arrugas, cuando se realice la primera carga. En algún caso tratado por la GIZ, se relleno el fondo con estiércol; así después de colocar el biodigestor, el estiércol fermenta, aumentando la temperatura y ayudando a que se inicie el proceso más rápidamente. (3)



Ilustración 1.k: Interior de la zanja antes de la colocación del reactor (9)

En el caso de biodigestores de altiplano / sierra alta, ya se mencionó que además de la zanja, se debían construir tapiales laterales de 40 cm de grosor, que ayudarán a guardar más calor al interior de la zanja y que servirán de soporte para la carpa solar. Como ésta tiene una pendiente (un agua) que debe estar orientada al norte (en el hemisferio sur), el tapial más al sur debe ser más alto que el tapial más al norte, con alturas respectivamente de 1.50 m y 1 m. (3)

Una vez que esté instalado el biodigestor, habrá que terminar de cerrar el invernadero por los lados de entrada y salida, levantando adobe o tapial.



Ilustración 1.l: Biodigestor con tapiales e invernadero (9)

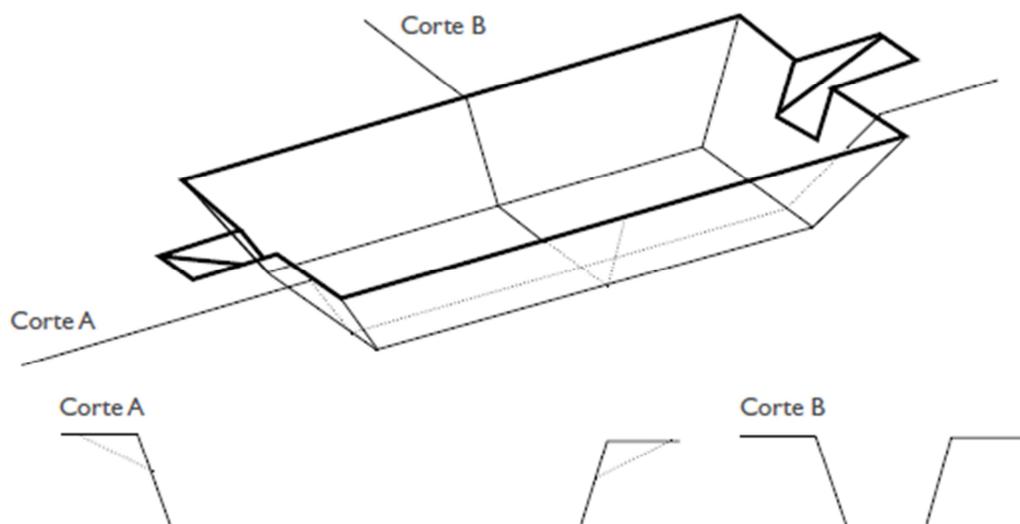


Ilustración 1.m: Forma de la zanja, con los cortes longitudinal (A) y transversal (B) (3)



Ilustración 1.n: Zanja recubierta de una hoja de plástico (16)



Ilustración 1.o: Se está poniendo paja en el fondo de la zanja (16)

A recordar...

El biodigestor está semienterrado: se excava una zanja, de sección trapezoidal para más estabilidad. En regiones frías, es importante que sea orientada en la dirección este-oeste, para aprovechar de manera óptima la radiación solar; en este contexto, además se deben elevar tapiales que mejoren el aislamiento térmico y sobre los cuales se apoyará el invernadero. La zanja no debe estar en el camino de gente o animales.

Se debe cubrir o rellenar la zanja para facilitar la acomodación del biodigestor y también mejorar el aislamiento.

1.3.1.2. Fabricación del reactor

Es importante construir el biodigestor sobre una superficie libre de piedras o de objetos que podrían dañar al plástico; el proceso dura alrededor de dos horas, según la experiencia de cada uno. (3)

Recuerdo del material y de las herramientas necesarias para esta parte:

Material	Herramientas
Rollo de PE tubular	Sierra
50-60 m de liga de neumático	Tarrajá ½"
2 tubos de PVC 6", 1 m de largo	Llave "estilson" (de fontanero) o llave inglesa
"Pasamuros" (flange)	Teflón
	Tijeras

Tabla 1.I: Material y herramientas para la fabricación del reactor (14)

1.3.1.2.1. Manga de plástico

Como para darle más solidez, se construye un reactor con doble capa de plástico, primero hay que cortar dos piezas de plástico del tamaño deseado, sin olvidar que se necesitarán 50 cm más para amarrar los tubos de salida y de entrada. Entonces se cortan dos piezas de la longitud diseñada, más 1 metro. Después hay que poner una manga de plástico a dentro de la otra: para ello, una persona agarra un extremo de una manga y cruza con cuidado por el interior de la otra manga, evitando dejar arrugas interiores y tratando de hacer coincidir a las dos capas.

1.3.1.2.2. Salida de biogás

Para hacer la salida de biogás se necesita un "pasamuros" (flange). Si no se pudo conseguir, se puede fabricar: para ello se necesitan un macho y una hembra de rosca de ½", dos discos rígidos de plástico (con agujero central del tamaño del macho y de diámetro de al menos 10 cm) y dos discos de plástico blando (de neumáticos) de diámetro superior a los discos rígidos y también con un agujero central. Se ensamblará de la siguiente manera, formando un sándwich: macho – disco rígido – disco blando – doble capa de plástico – disco blando – disco rígido – hembra. Se aprieta con la hembra, primero con la fuerza de la mano y segundo con la llave "estilson".

La salida de biogás se colocará sobre la mitad del biodigestor, haciendo un pequeño corte, pero un poco más cerca de la entrada: por si acaso hubiera una pendiente en la zanja de la entrada a la salida, así el biogás podría salir.

Por fin se corta una pieza de tubería de PVC de ½" y de 1 o 1.5 m de largo, se hacen rosca los dos extremos y con teflón en la unión se enrosca a la salida de biogás. En el otro extremo se coloca una llave de bola, que se cierra. (3)

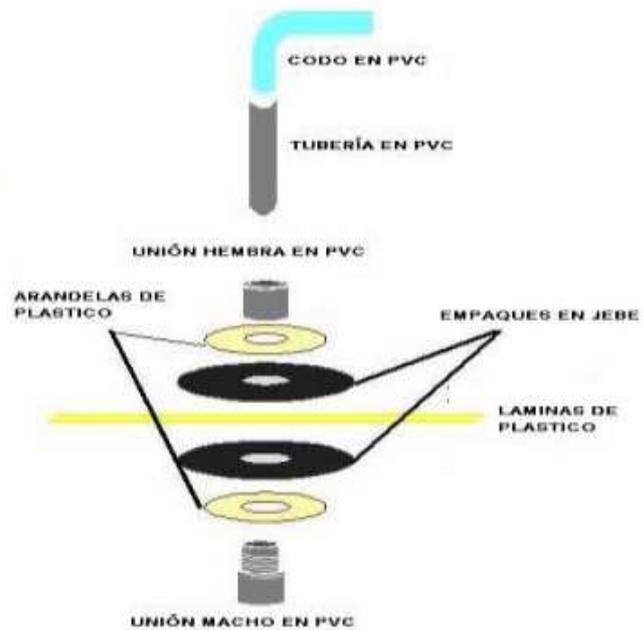


Ilustración 1.p: Fabricación del “pasamuros” (17)

1.3.1.2.3. Tubos de entrada y salida

En esta parte se amarrarán los tubos de entrada y salida a la manga de plástico, formando así una “salchicha”.

Lo primero es amarrar liga de neumático sobre un lado de cada tubo, cubriéndolo por unos milímetros; este lado estará al interior del biodigestor, y así cubierto, el filo del tubo no lo dañará.

A continuación se describe el proceso de amarre de un tubo (entrada o salida); se deberá reiterar este proceso para el otro tubo. El tubo se coloca en un extremo de la manga de doble capa de plástico, dejando a la vista 20 cm de tubo (entonces están 80 cm al interior). Para amarrar el plástico al tubo, se coge cada lateral de plástico y se hace pliegues en forma de acordeón; se debe cuidar que los pliegues no generen arrugas entre unos y otros.



Ilustración 1.q: Pliegue del plástico para amarrarlo al tubo (3)

Hecho esto, se miden 50 cm a partir del origen del plástico y a partir de este punto se amarra con la liga de neumático; al final quedarán entonces dentro del biodigestor 30 cm sin amarrar. Para amarrar sólidamente, cada vuelta tiene solaparse por encima con la anterior y la liga debe estar bien tensa; una vez terminados los 50 cm de plástico se continua amarrar por encima 10 cm más. Este amarre debe ser bien fuerte. (3)

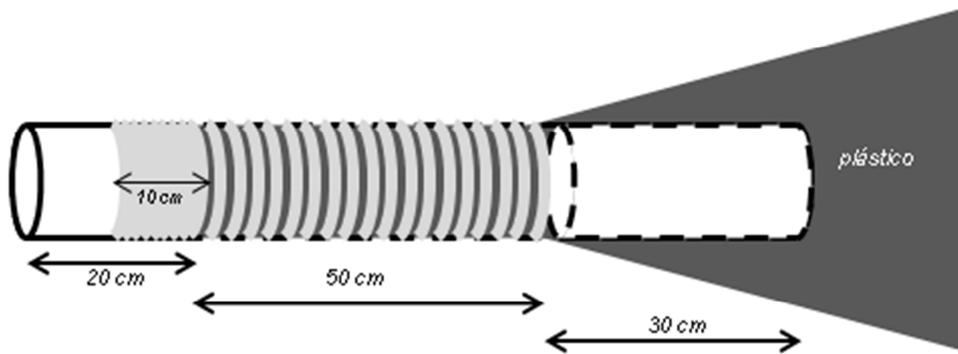


Ilustración 1.r: Amarre de los tubos de entrada y salida del biodigestor

1.3.2. Instalación

Para instalar el biodigestor se necesitan al menos dos personas. Lo más importante es siempre cuidar que el plástico del biodigestor no se dañe por rozarse con el suelo o con cualquier otro objeto.

1.3.2.1. Introducción en la zanja

Primero hay que introducir el biodigestor en la zanja preparada; para ello, lo mejor es desplegar el biodigestor y que varias personas lo trasladen hasta la zanja formando un “tren”, siempre cuidando que no se dañe. Una vez colocado dentro de la zanja, hay que chequear que no queden arrugas en la parte inferior, estirando de ambos extremos y metiendo alguien en la zanja si se ve necesario; es muy importante quitar en este momento las arrugas, porque si quedan algunas, después de llenar el biodigestor, nunca podrán ser eliminadas por el peso de la carga interior del biodigestor.



Ilustración 1.s: Colocación del reactor en la zanja (3)

Primordial es de colocar los tubos de entrada y salida para que el nivel de lodo sea óptimo. La profundidad de la zanja corresponde al nivel máximo que alcanzará la mezcla al interior del biodigestor; pero para que se alcance este nivel, es necesario que la boca externa del tubo de salida esté a ese nivel. En cuanto al tubo de entrada, se coloca de tal manera que el medio de los 50 cm de plástico amarrado coincida con el nivel de salida. Para calcular los niveles se usa una manguera transparente llena de agua.

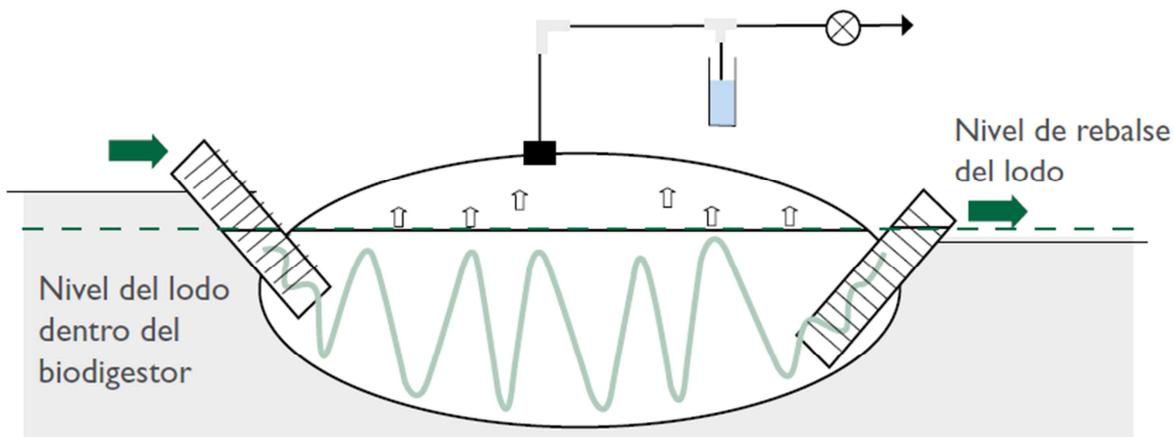


Ilustración 1.t: Colocación de los tubos de entrada y salida para tener un nivel de lodo óptimo (3)

Para que los tubos queden fijos y no sean jalados por el biodigestor cuando se llenará éste. Para ello se hace un pequeño agujero en los tubos y se clava una estaca a medio metro; pasando el alambre por el agujero se sujeta a la estaca.

Después de esto se recomienda cubrir los 50 cm de amarre de los tubos con viejos sacos para que el sol no queme las ligas neumáticas. (9)



Ilustración 1.u: Biodigestor de geomembrana de PVC listo para instalar (16)

1.3.2.2. Primera carga

Una vez instalado el biodigestor se puede proceder a la primera carga de mezcla de estiércol fresco con agua. Para tener una cantidad suficiente de estiércol fresco, se recomienda almacenar todo el estiércol de la semana anterior (7 días), pidiendo complemento a los vecinos si es necesario.

(3) (13) Se van a necesitar alrededor de 7 carretillas de estiércol. Para hacer la mezcla se puede utilizar un cilindro (barril, o tacho de basura de metal) y un palo para agitar; recuerde que en el caso del estiércol de vaca, se mezcla en proporciones 1:3 con agua (1 balde de estiércol por 3 baldes de agua), y 1:4 en cuanto a los otros tipos de estiércol (§1.2.3.2.1).

En el CIB3⁷ cerca de La Paz, Bolivia, durante la visita realizada por la autora de este documento en marzo del 2011, fue cargado un biodigestor con una mezcla de estiércol, agua y trozos de botellas de refresco, y otro con estiércol, agua y paja fina. La razón de esto es que las bacterias anaerobias necesitan lugares donde agarrarse y así se espera aumentar la superficie disponible para ellas. Por tanto aumentaría la cantidad de bacterias y el proceso de digestión sería más eficiente. Los resultados quedan pendientes. (9)

Es importante llenar el biodigestor hasta que las bocas de los tubos de entrada y salida queden tapadas por el lodo; así ya no entrará aire al biodigestor y podrá empezar el proceso de digestión anaerobia. Además se debe cuidar que no quedan arrugas en el fondo del biodigestor, porque eso, por causa del peso elevado de la carga (varias toneladas) no se podrá recuperar después. (13)

A recordar...

Es importante llenar el biodigestor hasta que las bocas de los tubos de entrada y salida queden tapadas por la mezcla, para que el aire no entre al biodigestor. También se debe evitar de dejar arrugas en el fondo del biodigestor, que no se podrían recuperar después, por causa del peso elevado de la carga.

1.3.2.3. Invernadero en el caso de la sierra alta o del altiplano

Una vez cargado el biodigestor, si se instaló un invernadero, se debe cerrar. Para ello, primero se debe colocar palos de madera de 2 m, de tapial a tapial, uno por metro de longitud del invernadero; conviene enterrar los palos en los tapiales; después, la forma que se ha encontrado más eficiente en el proyecto EnDev de la GIZ en Bolivia es echar 2 a 3 cm de barro fresco sobre los tapiales, colocar tensa la carpa solar y por fin volver a echar 5 cm de barro. Sobre este barro se recomienda poner piedras o paja para que las lluvias no se lleven todo el barro. (3)

Antes de cerrar el invernadero, una idea es de pintar las paredes interiores de los tapiales de negro, para que alcancen mayor temperatura.

Después de haber colocado la carpa solar tensa, se puede asegurar ésta contra el viento mediante ligas neumáticas clavadas en los palos.

Se puede mejorar el aislamiento del invernadero mediante, por ejemplo, paja colocada sobre las paredes exteriores de los tapiales – y no interiores porque esto tendría el efecto contrario, impidiendo que el tapial se caliente.

1.3.2.4. Construcción de la conducción de gas

⁷ Centro de Investigación de Biodigestores, Biogás y Biol

Una vez instalado el biodigestor y su invernadero (en el caso de sierra alta o de altiplano), queda suficiente tiempo (el tiempo de retención) para construir los otros elementos de la instalación, a saber la conducción de gas, el reservorio y la cocina de gas.

Se debe facilitar el acceso a la conducción de gas, poniéndola nunca enterrada, sino elevada, sobre postes o apoyada sobre una pared. Lo óptimo es tener un biodigestor entre 20 y 50 m de distancia a la cocina (para distancias mayores que 100 m convendría usar tuberías más anchas).

Recuerdo del material y de las herramientas necesarias para esta parte:

Material	Herramientas
25 m de tubería de PVC ½"	Sierra
4 codos PVC ½"	Tarraja ½"
4 niples PVC ½" (adaptadores)	Llave "estilson" (de fontanero) o llave inglesa
4 tees PVC ½"	Teflón
4 llaves de bola ½" de plástico	Selladora manual

Tabla 1.m: Material y herramientas para la construcción de la conducción de gas (3)

Tees para evacuación del agua en las tuberías

Una parte del agua presente al interior del biodigestor se irá evaporando y condensando en las tuberías de gas. A veces es inevitable tener "puntos bajos" en las tuberías; en estos puntos se deberá colocar una tee con la tercera salida tapada por un tapón de rosca, para poder sacar el agua condensada que se acumulará en los puntos bajos. Si no se hace, el agua podría taponar las tuberías y así impedir que el gas llegue a la cocina.



Válvula de seguridad

La válvula de seguridad es el primer elemento que se coloca cerca del biodigestor, para que se pueda revisar fácilmente cuando se hace la carga diaria. En el caso que no se consuma el biogás, éste podrá escapar por esta válvula, evitando así dañar el plástico del biodigestor por una presión demasiado fuerte, pero sin permitir que entre aire a dentro del reactor, que mataría el proceso de digestión anaerobia.



Ilustración 1.w: Válvula de seguridad cerca de La Paz, Bolivia (9)

Se realiza con una sencilla botella de refresco, la parte superior de la cual se aguja para poder rellenar la botella de agua cuando se hubiera evaporado. Entonces tras la primera llave de bola que había servido para cerrar la salida de

biogás, se coloca una tee; en la tercera salida de la tee (“T”: la salida de abajo) se conecta una pieza de tubería, que por otro lado se introduce en la botella llena de agua.

La tubería debe quedar sumergida en el agua de 8 a 13 cm, dependiendo de la altura sobre el nivel del mar, de la distancia a la cocina y del tipo de cocina:

- Cuanto mayor altura, menor presión atmosférica, menor presión se necesita en el biodigestor (debe ser similar a la presión atmosférica) y menos tiene que estar sumergida la tubería.
- Mayor la distancia a la cocina, mayor presión se necesita.
- Si la cocina utilizada es una cocina a gas de bombona adaptada para funcionar con biogás, se necesita más presión.

Para determinar la presión idónea es necesario hacer pruebas de la combustión de biogás en la cocina, una vez instalada ésta.

Tras la válvula de seguridad se recomienda insertar una llave de paso de manera a aislar el conjunto formado por el biodigestor y la válvula del resto de la conducción, para posibles reparaciones o modificaciones. Es importante no poner otra llave de bola más arriba de la válvula de seguridad, porque corría el riesgo que la llave quede cerrada por descuido o mala voluntad, llevando así a la destrucción del biodigestor.

Filtro a ácido sulfhídrico

Una pequeña proporción del biogás está constituida por ácido sulfhídrico H_2S , que es un gas tóxico y corrosivo (daña los elementos metálicos como el quemador de la cocina). Para quitarle al biogás este ácido se suele colocar en un trozo de la tubería compuestos de hierro: virutas de hierro, llana de acero (estropajo de acero, “bombril”) o óxido férrico Fe_2O_3 (que reacciona con el H_2S para formar sulfuro de hierro Fe_2S_3 y agua H_2O).



Ilustración 1.x: Filtro a H_2S , con virutas de hierro a dentro (13)

En el proyecto EnDev, desde el marzo del 2011 se recomienda elegir un trozo cerca de la cocina, entre dos uniones universales, para facilitar el cambio del compuesto de hierro; de hecho, se debe cambiar cada 6 meses, o con más frecuencia si se nota que la corrosión está más rápida.

A recordar...

La válvula de seguridad es un elemento muy importante de la instalación, además de realización muy simple. Proporciona al biogás una salida de emergencia del biodigestor, en el caso que el gas no hubiera sido utilizado durante un cierto tiempo. Así evita que el biodigestor se dañe, incluso se revente, por estar demasiado lleno. Se debe revisar regularmente el nivel de agua para garantizar una presión constante y para evitar que aire entre al biodigestor por la misma válvula.

Se debe poner tees en “puntos bajos” de la tubería, para poder sacar fácilmente el agua condensada acumulada en estos puntos. Si no se podrían tapar las tuberías.

El H_2S , componente del biogás, es un gas dañino, que avería las cocinas metálicas y que es tóxico para la salud. Para neutralizarlo se utiliza un filtro de hierro, que reacciona con el H_2S para formar otro componente ni dañino ni tóxico.

1.3.2.5. Construcción e instalación del reservorio

El tanque de almacenaje del biogás debe estar colocado cerca de la habitación donde se cocina, pero alejado del fuego, protegido del sol bajo techo, en un almacén, o en el exterior pero protegido de los vientos. Para su construcción se necesita el plástico tubular de la carpa solar, de dos capas como en el caso del biodigestor (eso es una evolución recién hecha por la GIZ, para más solidez – antes había una sola capa (9)).

Recuerdo del material y de las herramientas necesarias para esta etapa de la construcción:

Material	Herramientas
25 m de tubería de PVC ½"	Sierra
4 codos PVC ½"	Tarrajá ½"
4 niples PVC ½" (adaptadores)	Llave "estilson" (de fontanero) o llave inglesa
4 tees PVC ½"	Teflón
4 llaves de bola ½" de plástico	Selladora manual

Tabla 1.n: Material y herramientas para la construcción del reservorio (3)

Para construir el tanque se corta dos pedazos de plástico tubular de 3 m de largo y similarmente al reactor, se pone uno a dentro del otro y luego un "pasamuros" en la zona central. Hecho eso, usando la selladora manual de plástico, se sellan los dos laterales de la manga para cerrarla. Hay que sellar por tramos, siempre verificando que los laterales del plástico queden bien sellados; además se recomienda hacer pruebas previas para regular la potencia de la selladora. Así, la única manera de entrada o salida para el biogás será por el "pasamuros".

Después en cada extremo del tanque se hacen pliegues de acordeón, que se amarran con liga neumática, para que la presión del gas almacenado no abra los sellados.

El reservorio se puede colocar de dos maneras diferentes: horizontalmente o verticalmente. Se solió colocarlo horizontalmente, cerca del techo, con una cinta alrededor para darle presión, pero desde la innovación de un chacarero boliviano, se pone verticalmente con un contrapeso; así no se necesita darle presión, se la da automáticamente. Para estabilidad se aconseja jalar hilos entre palos y poner debajo viejos neumáticos. En el proyecto de la GIZ en Bolivia, siempre había 3 tanques de reservorio, para proporcionar más espacio de almacenaje y que sea más fácil tener presión; esta idea de poner los reservorios verticalmente fue propuesta por un usuario, así que se nota la importancia de discutir y escuchar a ellos. (9)



Ilustración 1.y: Reservorio horizontal inflado en Yanacancha Grande (Cajamarca) (13)

Construido el reservorio, se debe conectarlo a la conducción de biogás: para ello se coloca una “tee”, donde por una entrada vendrá el biogás del biodigestor, por otra irá hacia la cocina y por la tercera se conectará al reservorio. Es recomendable poner una llave de bola a un metro de conducción de reservorio, para poder cerrarla y aislarlo en caso de fuga o pinchazo. (3)



Ilustración 1.z: Reservorios verticales inflados cerca de La Paz, Bolivia (9)



Ilustración 1.aa: Reservorios verticales parcialmente inflados cerca de La Paz, Bolivia (9)

A recordar...

El reservorio juega dos papeles importantes:

- Almacenar el biogás
- Darle más presión para facilitar su uso en la cocina

Debe estar colocado cerca de la cocina. Los reservorios de plástico verticales se encuentran los más eficientes y prácticos.

1.3.2.6. Construcción e instalación de la cocina

Como ya se mencionó en el párrafo 1.2.3.6, para disponer de una cocina a biogás, se puede o adaptar una cocina a gas metálica, o construir una cocina con tuberías de fierro y un soporte de adobe y barro, o comprar en el mercado un quemador y también ponerlo sobre una estructura de adobe y barro. Se suele instalar dos hornillas (o fogones).

Para adaptar una cocina metálica de gas en alta presión al uso de biogás, hay que agrandar las entradas del difusor porque el biogás no tiene tanta presión (11), o quitar este difusor de gas, que se encuentra justo después de la llave de paso (3).

Para construir una cocina se utiliza el material siguiente:

- tuberías de fierro de ½” y codos metálicos para fabricar los fogones,
- tuberías, “tee” y codo de PVC para conducir el biogás hacia los fogones,
- barro y adobe para fabricar las estructuras que sustentarán las ollas.

Después de haber llevado la conducción de PVC de biogás hasta el lugar donde estará colocada la cocina y haber dividido la conducción en dos partes (para las dos hornillas) mediante llaves de bola,

una “tee” y un codo, se construye cada hornilla con un tramo de tubería de hierro de 12-15 cm, un codo metálico y otro tramo de tubería de 7 cm; esta salida será el fogón.

Si la familia ya usa una cocina a gas de bombona, conviene instalar la cocina a biogás cerca de ésta, para no inducir cambios de costumbres muy grandes. (9)



Ilustración 1.bb: Cocina de arcilla (13)



Ilustración 1.cc: Cocina de arcilla con dos fogones (13)



Ilustración 1.dd: Cocina con quemador de 3 líneas. Falta todavía el soporte. (9)



Ilustración 1.ee: Cocina a biogás instalada cerca de una cocina a gas de bombona (9)

1.3.3. Biodigestor unido a una letrina (3)

Si se quiere tratar las aguas negras a través de un biodigestor, el trabajo requerido es un poco diferente, ya que las heces humanas conllevan coliformes, que son patógenos para la salud humana. Al biodigestor sólo debe llegar el desagüe de la letrina, y no de la ducha o del lavamanos, ya que los detergentes matarían a las bacterias metanogénicas necesarias para llevar a cabo la digestión; así mismo, los baños deben ser limpiados sólo una a dos veces semanales con detergentes.

La mayoría de los coliformes desaparecerán durante la metanización, pero quedaron una parte en el biol, lo que restringirá su uso en los cultivos (cf. §1.4.1.3).

Se puede considerar la conexión del biodigestor a la letrina de dos maneras:

- Biodigestor mixto, o sea recibiendo estiércol animal y heces humanas
- Biodigestor dedicado al tratamiento de los residuos de los baños

El primer caso implica una restricción de uso de todo el biol producido, incluyendo el que viene de la descomposición del estiércol animal, ya que todo se encuentra mezclado. Además, para tratar de manera correcta las aguas negras, habrá que aumentar el tiempo de retención, y por tanto las dimensiones del biodigestor. Por estas razones se ve más aconsejable construir un biodigestor dedicado al tratamiento de las aguas residuales de la letrina, y otro para la digestión del estiércol animal.

Para disminuir la descarga de agua en la letrina y así limitar la dilución de las aguas negras, se recomienda introducir una botella de 2 L de agua en el depósito, que suele ser de 5 L; así sólo se descargarán 3 L y no 5.

1.4. Operación, mantenimiento y reemplazo

1.4.1. Operación

1.4.1.1. *Inicio del proceso de metanización*

Después de la primera carga del biodigestor, no se podrá tener los productos que son biogás y biosol inmediatamente, ya que la descomposición del sustrato orgánico es un proceso lento, aún más cuando se encuentra en una región fría. Al inicio todavía hay aire al interior del biodigestor, que está consumido por bacterias aerobias, mientras que desde el fondo del biodigestor, que es un medio anaerobio, las bacterias anaerobias empiezan su trabajo; cuando ya no hay aire, las bacterias aerobias se mueren.

Se podrá tardar entre 3 semanas y 2 meses en producir biogás y biol; durante este tiempo, de manera imprescindible se debe cargar el biodigestor diariamente, si no nunca se podrán tener los productos.

Si el biogás no se quema, significa que su contenido en metano aún no está suficiente y que el proceso de digestión no está terminado; simplemente se deja el gas escapar y se espera que el biodigestor se vuelva a llenar. Cuando el biogás se quema, está listo para ser usado, tanto como está el biol. (18)

1.4.1.2. *Alimentación del biodigestor*

Cada mañana se debe recoger la cantidad de estiércol fresco derivándose del diseño y mezclarla con agua según la proporción necesaria: 1:3 para estiércol de vaca y 1:4 para otros tipos de estiércol. Luego hay que introducir esta mezcla en la entrada del biodigestor.

En los modelos desarrollados por la GIZ Bolivia (cf. §2.1.2.8), la cantidad a recoger diariamente es 20 kg de estiércol fresco, a mezclar con 60 L de agua. Esta cantidad asegura una producción de biogás de unos 700 a 750 L al día, suficiente para 3 horas de cocina si se utiliza el quemador de 3 líneas; el

número de horas de cocina depende del tipo de quemador instalado, porque cada uno consume diferentes cantidades de gas a la hora.

Si un día se olvida de cargar el biodigestor, se debe cargar el doble en el día siguiente.

1.4.1.3. *Uso de los productos*

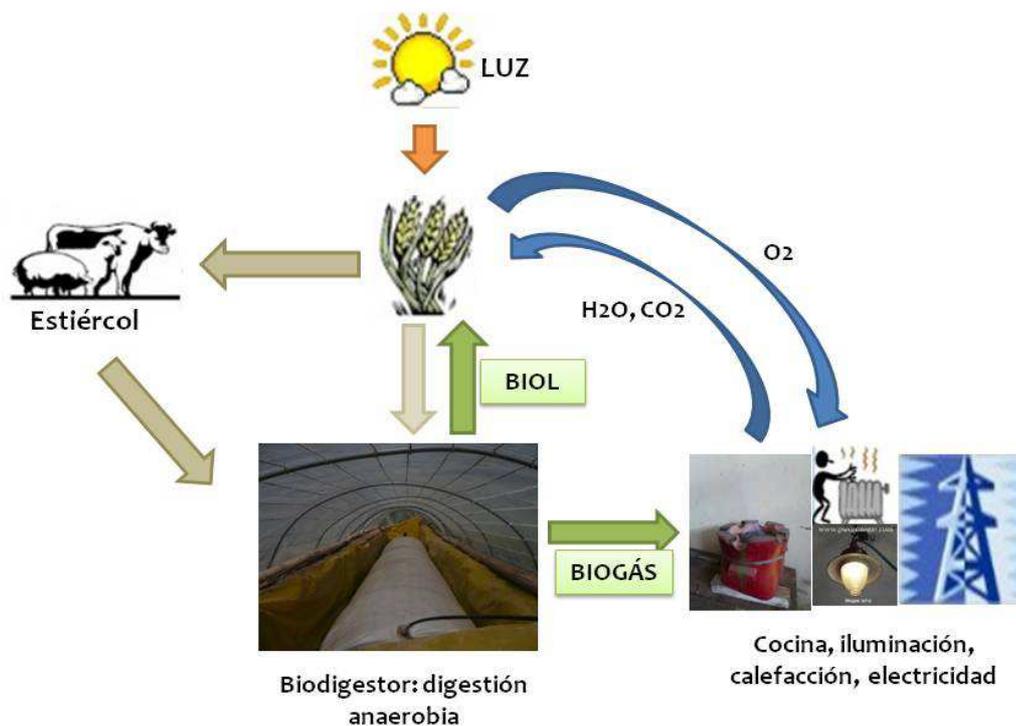


Ilustración 1.ff: Ciclo del biodigestor

Mediante la digestión de la materia orgánica por el biodigestor, se producen dos productos interesantes: el biogás y el biol (cf. §1.1). Por la salida del biodigestor viene un líquido digerido llamado el biol (como **bio**abono líquido). Este biol constituye un fertilizante orgánico muy apreciado por los campesinos; de hecho, tiene un contenido de nitrógeno de 2 a 3%, de fósforo de 1 a 2%, de potasio alrededor de 1% (3), los que son nutrientes necesarios al crecimiento de los cultivos; el pH acerca 7 o 7.5. Se produce sobre 80 L de biol diariamente (volumen equivalente a la mezcla introducida); esta producción se puede utilizar de 3 maneras:

- se puede regar en cada surco de las parcelas aradas una mezcla 3:1 de biol con agua antes de sembrar, (11) (3)
- el día antes de sembrar, se pueden dejar las semillas en una mezcla 1:1 de biol con agua durante 4 a 5 horas, (11) (3)
- cuando las plantas ya están creciendo, se puede filtrar el fertilizante y fumigar los cultivos con una mezcla de 3 partes de fertilizante con 1 de agua. Pero no se debe hacer en cualquier momento: funciona muy bien fumigar tras una helada o cuando ya comienza el fruto a aparecer, pero nunca durante la floración, ya que podría llegar a

quemar la planta (11) (3). Además se debe utilizar en la tarde o la mañana pero no al medio día (19).

Ojo que el biol debe ser utilizado fresco, dentro de una semana después de su producción: después de este periodo las concentraciones de nitrógeno no son suficientes para fertilizar los cultivos. Además, si se almacena el biol de la semana, se debe cubrir para que no se diluya más con la lluvia.



Ilustración 1.gg: Cultivos sin (parte izquierda) y con (parte derecha) uso de biol: los cultivos con biol ya tienen flores (9)

Se deben tomar en cuenta limitaciones de uso si se usa como materia prima estiércol humano (o sea si el biodigestor está conectado a una letrina). El biol producido conlleva coliformes patógenos: un 80-95% de

los coliformes de las heces humanas se muere durante la digestión anaerobia, pero se quedan algunos. Entonces se puede fumigar el biol sólo en frutales o cultivos cuyo fruto esté a más de 50 cm del suelo y cultivos cuyo fruto sea subterráneo (papa, cebolla, zanahoria...): se fumiga en la parte inferior de la planta y nunca sobre el fruto, que va a servir de alimentación. Pero si no se quiere usar este biol proviniendo de heces humanas, se puede echar al río, ya que fue tratado de manera satisfactoria.

El biogás, como ya se vio, se puede usar por su contenido de metano para cocinar, pero también para iluminar (con lámparas de gas), para calentar o para generar electricidad (un generador de 1 kW utiliza aprox. 0.5 m³ de biogás por hora (16)).

Combustible	Poder calorífico en MJ / kg
Metano CH ₄	50.2 – 55.8
Biogás con 60% de CH ₄	30.1 – 33.5
Propano C ₃ H ₈	46.5 – 50.6
Butano C ₄ H ₁₀	45.6 – 49.5
Querosén	39.8 – 43
Diesel	38.5 – 42
Fuel	41.8 – 44
Madera seca	20 – 21.3
Madera con 20% de humedad	16.2
Madera con 50% de humedad	10.2
Bosta seca	17.1
Carbón	28

Tabla 1.o: Valores de poder calorífico de algunos combustibles (20)

Como se ve en la Tabla 1.o, como el biogás sólo tiene de 50% a 70% de metano en proporción, que es el gas aprovechable por combustión, tiene un poder calorífico menor que gases como metano, propano o butano (propano y butano son utilizados en bombonas) y también que el

querosén, diesel y fuel. Pero un kilogramo de biogás libera más energía que la misma masa de madera seca, de bosta seca o de carbón.

Para utilizar el biogás para calentar, se puede construir una plancha metálica que irradie el calor proporcionado por la quema del biogás.

Para generar electricidad, se puede conseguir en el mercado un pequeño generador (incluso de 500 W), por alrededor de US\$ 300. El consumo de estos motores alcanzaría unos 300 L de biogás por hora. Entonces para dar 3 horas de electricidad a una familia, que ya utiliza el biogás para su cocina, habría que tener un biodigestor produciendo unos 1650 L de biogás por día y por tanto, una carga diaria de unos 50 kg de estiércol. Para ello se necesitarían 8 a 10 vacas pastoreadas (3). La electricidad se debe generar cerca de la producción de biogás para no necesitar comprimir el metano, lo que resulta difícil.

A recordar...

Hay un periodo de inicio del proceso de digestión, que no es instantáneo. Durante éste, se deberá cargar el biodigestor cada día, aún sin disponer de los productos útiles.

Diariamente se alimenta el biodigestor con una mezcla de estiércol y agua. La cantidad de estiércol está determinada por el diseño. Se mezcla en proporciones 1:3 con el agua si es estiércol de vacuno y 1:4 si se trata de otros tipos de estiércol.

Utilización de los productos:

- Biogás: para cocinar, iluminar, calentar, generar electricidad.
- Biol: este fertilizante orgánico se puede, diluido con agua, regar en los surcos antes de sembrar o fumigar en las plantas cuando ya están creciendo. También se pueden dejar remojar las semillas el día antes de sembrar en una mezcla de biol con agua.

1.4.2. Mantenimiento

No hay mucho mantenimiento a parte de la alimentación diaria del biodigestor: el biodigestor es como un animal, si no se le da alimentos, se muere; si un día se ha olvidado darle de comer, comerá más el siguiente día (si un día se ha faltado cargar el biodigestor, se puede cargar el doble el siguiente día).

A parte de la alimentación diaria del biodigestor, se pueden mencionar los siguientes puntos de mantenimiento: (3)

- Durante la fase de construcción del biodigestor, si se ve necesario, se deben tomar medidas para protegerlo de agresiones exteriores: ya fue mencionado el daño causado por la radiación solar y la manera de evitarlo (construyendo una carpa solar), pero pueden suceder otras agresiones más repentinas por animales (por ejemplo pollos) o por vandalismo o juegos de los niños; si existen tales riesgos, se recomienda construir una valla alrededor del biodigestor.
- Hay que verificar que ramas o herramientas no estén cerca del biodigestor, puesto que podrían dañar las capas de plástico. Además, se debe cuidar el invernadero (o la

semisombra o la techumbre en otras regiones que altiplano o sierra alta) y mantenerlo siempre tenso.

- Se pueden arreglar agujeros en el plástico que no midan menos de 5 cm. En caso de huecos más grandes, lamentablemente se deberá cambiar el plástico. (19)
- Se debe prestar atención a la válvula de seguridad: nunca le debe faltar agua, sino el biogás se evaporará y más grave, aire entrará al biodigestor (si sucede que aire entre al biodigestor, las bacterias anaerobias se morirán y habrá que esperar de nuevo unas semanas antes de que crezcan nuevas bacterias y que el proceso de digestión anaerobia se estabilice). Al menos cada 3 meses se debe volver a llenar de agua.
- Si no se usa el biogás para cocinar u otras aplicaciones, se debe quemarlo de todos modos, para que no se escape el metano a la atmosfera.
- Hay que vigilar la condensación y por tanto acumulación de agua en las tuberías de biogás: si la llama de la cocina sale a tropicónes (la llama aparece y desaparece), es que probablemente agua se ha acumulado, y hay que purgarla mediante las “tees”. Si no se remedia, terminará por no llegar biogás a la cocina.
- También se debe cuidar el reservorio que es el punto débil de la instalación porque está hecho de plástico menos grueso y porque su cambio de presión constante (inflarse, desinflarse...) facilita la aparición de fugas. Por ejemplo se debe cuidar la conjunción de las dos capas de plástico, donde puedan aparecer fugas.

Durante la visita a su chacra en el altiplano boliviano, doña Teresa, productora de leche y quesos, señaló que tenía menor biogás que antes. Al examinar la instalación, resultó que había una pequeña fuga al nivel de la conjunción de las dos capas del reservorio. (9)
- Se debe renovar el filtro de fierro para el ácido sulfhídrico regularmente, cada 6 meses, o menos si se corroe más rápido, cambiando las virutas o bombril de fierro, u óxido férrico.
- Para facilitar la carga diaria se puede construir una “caja de mezcla” a la entrada del biodigestor, de manera que echando el estiércol sobre esta caja (de barro, de adobe forrada de plástico o de concreto) se vaya mezclando con el agua y caiga la mezcla diluida al interior del biodigestor. Igualmente se puede construir una caja a la salida del biodigestor para el biol; a ésta se puede añadir una salida directa hacia el canal de riego de los cultivos. Conviene tapar este reservorio con una lámina de madera o de metal, para que el fertilizante no pierda sus propiedades.
- Lavar las carretillas después de la carga.
- Normalmente, no es necesario realizar una purga de los lodos sedimentados al interior del biodigestor antes de 5 años de funcionamiento, lo que en el caso del PE tubular, equivale a la vida útil del biodigestor. Biodigestores de geomembrana de PVC prefabricados y cerrados, como el de CIDELSA, integran una tercera salida para los lodos.



Ilustración 1.hh: Caja de mezcla a la entrada del biodigestor (13)



Ilustración 1.ii: Caja de salida de biol (13)

A recordar...

- El biodigestor es como un animal: si no come, ¡se muere! Se debe alimentar diariamente y si se olvida de hacerlo una vez, en el día siguiente debe comer doble.
- Se debe proteger de animales, niños y ramas que podrían dañar el plástico.
- Se debe verificar el nivel de agua en la válvula de seguridad y volver a llenarla al menos cada 3 meses.
- Se debe sacar el agua condensada en las tuberías por las tees.
- Se debe cambiar las virutas de hierro del filtro a H₂S al menos cada 6 meses.
- Se debe quemar el biogás, incluso en el caso que no se quiera utilizar para cocinar.

Se debe cuidar el reservorio y verificar regularmente que no haya fugas.

1.4.3. Reemplazo

La duración típica de un biodigestor hecho de PE tubular es de 5 años. Pero según el nivel de cuidado, pero durar menos o al contrario alcanzar una vida útil mucho mayor, hasta 10 años.

En cuanto al biodigestor de geomembrana de PVC, de costo inicial más elevado, la empresa CIDELSA⁸, que fabrica biodigestores de este tipo en el Perú, menciona una vida útil de más de 10 años.

⁸ http://www.cidelsa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=58&Itemid=68&lang=es

Si se daña sólo una capa del biodigestor de PE tubular, se puede seguir usando, pero si se dañan las dos, no hay otro modo que de construir de nuevo el biodigestor. Naturalmente, se pueden volver a utilizar los componentes que están en buen estado, como las tuberías, etc.

Se puede que la carpa solar se deba cambiar antes del reactor, luego de 2 o 3 años, pero éste también depende mucho del cuidado.

A recordar...

Duración típica de un biodigestor de PE tubular: 5 años

Duración típica de un biodigestor de geomembrana de PVC: 10 años

Duración típica de la carpa solar: 2 a 3 años

2. Dimensiones de difusión

2.1. Experiencias

2.1.1. Panorama mundial

La digestión anaerobia no fue considerada una mayor fuente de energía en los países industrializados durante la mayor parte del siglo XX, debido a la extendida disponibilidad de hidrocarburos y al desarrollo de fiables redes de distribución de electricidad. Sin embargo, durante este periodo las fuentes de producción de metano de origen antropogénica por digestión anaerobia aumentaron; incluyen ante todo los grandes vertederos y la agricultura. (1)

Al contrario, en los países en desarrollo que dependían mucho de combustibles de biomasa (como la leña), la búsqueda de otras fuentes de energía pareció más atractiva. Así la crisis mundial de energía en los años 70 dio el estímulo necesario al desarrollo de biodigestores; en esta época, millones de ellos fueron instalados en países asiáticos tales como China e India. Desde entonces, los países emergentes han sido pilotos en el desarrollo de biodigestores de pequeña escala. Es el tipo de biodigestor más abundante en el mundo, con más de 10 millones de biodigestores de pequeña escala instalados. (1) (21) La ONG holandesa SNV⁹ es uno de los principales actores de la difusión de la tecnología en el sureste asiático, proporcionando asistencia técnica en el tema a sus socios locales.

Recientemente la investigación y el desarrollo en el tema de la digestión anaerobia ocurrieron principalmente en la mayor escala de sistemas industriales. En Europa y en los EEUU, se ve en ella una opción para manejar grandes fuentes de basura orgánica como la basura agrícola o los restos de alimentos, mientras produciendo notables cantidades de energía en forma de biogás. Biodigestores de gran escala han alimentado sistemas de producción y transporte de electricidad y de calefacción. La digestión anaerobia a gran escala debería seguir recibiendo inversiones. (1)

A pesar de un potencial técnico interesante de 18.5 millones de biodigestores (22), experiencias con biogás en África fueron hechas en una escala mucho más pequeña y fueron a menudo decepcionantes al nivel de la vivienda. Los requisitos en términos de costo del capital, mantenimiento y seguimiento fueron más elevados de lo previsto. En el marco de una agricultura de subsistencia, un obstáculo inesperado fue el acceso a estiércol animal y a agua. El entusiasmo inicial por el biodigestor fue entonces un tanto apagado por la experiencia. Las posibilidades parecen mejores cuando el manejo de la crianza de animales es un poco más activo y que el estiércol está disponible en suficientes cantidades. (23) La fundación *Biogas for Better Life, an African Initiative*¹⁰ fue creada en el 2007 y tiene como objetivo la instalación de 2 millones de biodigestores de pequeña escala en 10 años. (24)

2.1.1.1. China

⁹ Netherlands Development Organization

¹⁰ <http://www.biogasafrica.org/>

Aproximadamente el 70% de la población china vive en chacras o en pueblos. Para esta parte de la población no existen sistemas oficiales de manejo de la basura. Entre las diferentes posibilidades de manejo de los desechos orgánicos se cuentan con la alimentación de los animales, la utilización directa como abono orgánico, la producción de abono compuesto y la digestión anaerobia. Los desechos inorgánicos se quedan en general amontonados en una parte poco utilizada del campo. (25)

Primera ola de uso del biogás

Según el Sr. Xiaofu Chen de CAREI¹¹, China tiene una historia de más de cien años en el tema de los biodigestores. De hecho, aunque existen pruebas del uso del biogás en Asiria en el siglo X a.C., China es uno de los países que ha utilizado la digestión anaerobia para producir biogás temprano en su historia, sencillos biodigestores apareciendo en zonas costeras del sur de China a finales del siglo XIX d.C.

El año 1920 en la provincia de Guangdong (Cantón), el Sr. Luo Guorui pensó y construyó un reactor de biogás Guorui de 8 m³; luego fundó la empresa *Santou Guorui Biogas Lamp Company*. En el 1932, mudó la empresa a Shanghái y estableció numerosas filiales al largo del río Yangtsé y en las provincias meridionales. En el 1935 se publicó *Chinese Guorui Biogas Digester Practical Lecture Notes*, el primer artículo sobre biogás en el mundo. (26)

Segunda ola de uso del biogás

Esta segunda ola se inició en Wuhan (provincia de Hubei) en el 1958 mediante una campaña promoviendo las varias funciones de la producción de biogás, que resuelve al mismo tiempo las cuestiones de la acumulación del estiércol y de la mejora de la higiene. (26)

Tercera ola de uso del biogás

A finales de los años 1970, el gobierno chino empezó a plantearse la producción de biogás como un uso eficiente y racional de los recursos naturales en regiones rurales. Además de proporcionar energía, los biodigestores permitieron proteger el medio ambiente y mejorar la higiene, y fueron parte de la modernización de la agricultura. En esta época unos 6 millones de biodigestores fueron instalados en China, lo que atrajo la atención y el interés de muchos otros países en vías de desarrollo. El biodigestor de tipo chino (con cúpula fija) se volvió el tipo estándar. (26)

En el 2003 el gobierno anunció el *2003-2010 National Rural Biogas Construction Plan*. De 9 millones de biodigestores existentes, la proposición era de incrementar esta cifra en 11 millones para alcanzar 20 millones de sistemas instalados antes del 2005, así con 10% de las chacras usando biogás. La siguiente meta es de instalar antes del 2010 31 millones biodigestores más, entonces de tener un total de 50 millones biodigestores; en este caso el ratio de uso sería el 35%. Desde el 2003, el gobierno subvencionará cada biodigestor a la altura de 1000 Yuan (aprox. US\$ 150). (26)

Desde el inicio de los años 2000, el número de biodigestores instalados ha empezado un fuerte crecimiento. Las provincias del sur-oeste de China Guangxi, Sichuan, Yunnan y Guizhou destacan con más de cien mil nuevos biodigestores cada año, debido a las subvenciones gubernamentales más importantes.

A finales del 2008, alrededor de 30.5 millones de biodigestores están instalados en el país. (22)

¹¹ China Association of Rural Energy Industry

El potencial de biodigestores en China fue evaluado por algunos expertos a 150 millones, lo que cubriría el 55% de las viviendas rurales; pero las tendencias de industrialización de la cría de animales y del éxodo rural reducirían este potencial a los 80 millones. (27)

Algunas experiencias

- El pueblo de Meili en la ciudad-prefectura de Shaoxing (provincia de Zhejiang) produce anualmente 28000 cerdos, 10000 patos, 1 millón de anadones y 100000 pollos. En el 2001 construyeron biodigestores para tratar 30 toneladas de excretas animales y humanas, lo que generó una producción de biogás suficiente para más de 300 viviendas y 7200 toneladas de biol cada año. (26)
- En Mianzhu (provincia de Sichuan), la planta de alcohol *Hongzhi Alcohol Corporation Limited* administra un servicio de producción de biogás a partir de residuos orgánicos industriales, aguas negras y desechos, que es pagado por industrias y residentes urbanos, pero suministrado gratuitamente a los chacareros. La empresa también construyó una central eléctrica de biogás generando 7 GWh al año. La ciudad de Mianzhu trata el 98% de las aguas negras municipales, incluso las aguas residuales de hospitales, mediante biodigestores de una capacidad total de 10000 m³. El agua tratada alcanza estándares nacionales, por tanto mejorando mucho la condición del medio ambiente. (26)
- La asociación Shaanxi's Mothers instaló 1294 biodigestores alimentados con estiércol humano y porcino en la provincia de Shaanxi desde el año 1999. Shaanxi's Mothers promueve la utilización de biodigestores unidos a pocilgas. Los biodigestores construidos son de tipo chino, la mayor parte teniendo un volumen de 8 m³ y algunos de 10 o 15 m³. Proporcionan energía limpia para cocina y iluminación, mejoran las condiciones de salubridad y ayudan a prevenir más degradación del medio ambiente, en una región afectada por la contaminación y la erosión de los suelos debidas al uso intensivo de leña y de carbón. Los usuarios pagan sobre un tercero de los costes (dinero y mano de obra), lo que pueden compensar con los ahorros que hacen en fuel y abono en uno o dos años. El resto cubren las subvenciones del gobierno y por fin la asociación. (28)

2.1.1.2. India

Historia

En el año 1859, fue construido en una leprosería de Mumbai el primer reactor en el mundo produciendo biogás a partir de residuos orgánicos. (26) Las investigaciones en el tema de biogás empezaron en los años 1930 y en el 1960 fue creado por Ram Bux Singh el instituto Gobar Gas Research Station; el nombre indica (Gobar significa estiércol de vaca en hindi) que el instituto concentró sus investigaciones en la producción de biogás a partir de estiércol de vaca. (29)

En la fecha de marzo del 2009, se constata que alrededor de 4.1 millones de biodigestores están instalados en India. (22)

Algunas experiencias

- *National Program on Biogas Development* (NPBD): el programa lleva la ambición de instalar 12 millones de biodigestores de pequeña escala. En la fecha del 31 de marzo del

2009, ha logrado 4.17 millones de instalaciones, con dos tipos de diseños: el modelo KVIC (cúpula flotante) y el modelo Deenbandhu basado en el tipo chino (cúpula fija). (30)

- La asociación *Prakratik Society* instaló entre el 1999 y el 2004 250 biodigestores Deenbandhu de volumen 3 m^3 en las orillas del parque nacional Ranthambhore en el Rajastán. Con el fuerte crecimiento de la población, la presión sobre el parque está alta y la instalación de los biodigestores frenó la deforestación, preservando anualmente 600 toneladas de leña. (31)
- El ARTI¹² en Pune (estado de Maharashtra) desarrolló un biodigestor muy compacto que utiliza desechos alimentarios en vez de estiércol para producir biogás. En la ciudad de Pune, mucha gente utiliza GLP y queroseno para cocinar y se deshace de los residuos orgánicos en los bordillos de las calles, lo que atrae perros, ratas y moscas y cree un peligro para la salud. El biodigestor de ARTI, hecho de dos tanques de agua (de volúmenes 0.75 y 1 m^3) de polietileno de alta densidad (HDPE), es suficientemente compacto para poder estar utilizado en los centros urbanos. Una instalación de 1000 L produce bastante biogás para satisfacer al menos la mitad de las necesidades en GLP o queroseno de un hogar; también produce un poco de biol que se puede usar como abono orgánico. Ventaja de la materia prima orgánica es que tiene una densidad de energía mucho más alta que el estiércol – así basta para una familia un pequeño biodigestor – y que la digestión empieza en sólo uno o dos días, en lugar de varias semanas en el caso del estiércol. Además, según las investigaciones de ARTI, el biogás producido tiene una concentración de metano más alta que en el biogás de estiércol. Entre el 2003 y el 2006, ARTI instaló 700 biodigestores en Maharashtra. El usuario tiene que cubrir todo el coste del material y de la instalación, que alcanza típicamente Rs¹³ 6500 (aprox. US\$ 145) por un sistema de 1 m^3 , más Rs 500 por una cocina a biogás. Según las estimaciones, un biodigestor instalado en un hogar urbano permite ahorrar 100 kg de GLP o 250 L de queroseno cada año, o sea 300 a 600 kgCO₂eq; en un contexto rural, preservaría 3 toneladas de leña, o sea 5 tCO₂eq. (32)
- La ONG SKGS¹⁴ instaló entre el año 1993 y 2007 43000 biodigestores de diseño Deenbandhu en el estado de Karnataka; los biodigestores de 3 m^3 benefician a 210000 personas. Las instalaciones son alimentadas con estiércol de vaca, lo que ahorra cada día a la mujer 2 a 3 horas de recolección de leña y de cocina. La instalación mejora la salud por la supresión del humo y cuida el medio ambiente (ahorra 4 tCO₂eq por año). SKGS tiene diferentes modelos de biodigestores, con capacidades de producción de biogás de 2, 3 o 4 m^3 por día. La parte innovadora del proyecto es la construcción de un sistema adyacente de vermicompost (o lombricompost); de hecho, los chacareros sufrían dificultades transportar el biol líquido hasta los cultivos y por tanto preferían dejarlo secar al sol, perdiendo así la mayor parte del útil nitrógeno. El biol es introducido por las mujeres en la instalación de vermicompost con otros residuos agrícolas. La unidad produce sobre 8 t de compost por año y la mitad es vendida, generando Rs 16000. Es manejada por las mujeres y el beneficio de esta unidad va a ellas. Inicialmente SKGS fue

¹² *Appropriate Rural Technology Institute*

¹³ Rupia indiana

¹⁴ SKG Sangha

financiado mediante un préstamo bancario; está explorando la posibilidad de MDL. (33)
(34)

- El VK-NARDEP¹⁵ vendió e instaló 2000 biodigestores de tipo Deenbandhu en Tamil Nadu entre 1986 y 2006. VK-NARDEP estima que una familia equipada con un biodigestor de 4 m³ puede ahorrar Rs 26 de leña y Rs 14 de abono cada día. (35)
- La ONG BIOTECH instaló biodigestores en 12000 hogares, 220 instituciones y 19 sitios municipios. en zonas suburbanas de Kerala. La mayor parte de las instalaciones domésticas tienen un volumen de 1 m³ y producen aprox. 1 m³ de biogás por día. Los biodigestores son alimentados con residuos orgánicos de la cocina mezclados con agua; estiércol de vaca sólo es utilizado al inicio del proceso para proporcionar las bacterias necesarias. Más del 50% del coste del biodigestor es subvencionado por el ministerio de energías no convencionales y por el gobierno local. Todas las instalaciones permiten ahorrar 3700 tCO₂eq por año. (36)
- La organización CREAT desarrolló a partir del modelo Deenbandhu un biodigestor prefabricado con cúpula de PE en vez de concreto e instalo 550 de ellos.
- La empresa Sintex Industries, fabricante de plásticos y textiles en Gujarat, diseñó un modelo de biodigestor de 1 m³ e instaló cien de ellos en la fecha de febrero 2008. Este biodigestor puede utilizar la basura de una familia de cuatro personas para proporcionar toda la energía necesaria para cocinar. El coste del biodigestor es de US\$ 425, de lo cual el gobierno subvencionará un tercero. (6)

2.1.1.3. *Nepal*

En la mitad del 2009, sobre 200000 biodigestores están instalados en el país (22), alcanzando así aprox. 1 millón de habitantes utilizando biogás, o sea el 4% de la población. (37)

La ONG BSP-Nepal¹⁶, apoyada por la ONG holandesa SNV, instaló 124000 biodigestores de tipo chino entre el 1992 y el 2005, y todavía está continuando la expansión del uso de biogás; hasta ahora llegó al 10% de los potenciales usuarios de biodigestores. A partir de estiércol animal, los biodigestores producen biol y biogás para cocina y en el 20% de los hogares iluminación; además el 75% incorpora letrinas. Los biodigestores existen en 4 tamaños diferentes, entre 4 y 10 m³, y cada uno produce de 1.2 a 1.5 m³ de biogás diariamente. BSP también proveyó ayuda en el diseño e instalación de 100 biodigestores de 50 m³ en escuelas y hospitales. Un biodigestor de 6 m³ cuesta entre £170 y £220, lo que BSP reduce a £120 a pagar por el usuario mediante subvenciones. Un tercero de este coste es pagado en natura por la mano de obra y los materiales proporcionados por la familia. El £80 restante todavía representa un coste importante pero las familias están de acuerdo a pagar esto porque conocen los beneficios a largo plazo del biodigestor; benefician de microfinancias y en general pagan el préstamo en 18 meses. BSP estima que cada biodigestor ahorra 4.7 tCO₂eq por año. (37)

2.1.1.4. *Taiwán*

¹⁵ Vivekananda Kendra - *Natural Resources Development Project*

¹⁶ *Biogas Sector Partnership-Nepal*

La investigación taiwanesa aportó un importante avance en la historia de los biodigestores, con el desarrollo del biodigestor tubular horizontal, dicho de tipo Taiwán (o taiwanés), en los años 60. Ahora el diseño desarrollado por R. Botero y T.R. Preston a parte de este modelo es muy popular en América Central y del Sur.

2.1.1.5. Vietnam

El número de biodigestores en Vietnam está estimado a más de 200000. El MARD¹⁷ y SNV Vietnam desarrollaron juntos un programa nacional de biogás, el *Biogas Program for the Animal Husbandry in Vietnam*. Entre el 2003 y el 2010 el programa originó la instalación de 100000 biodigestores de cúpula fija, de varios tamaños entre 4 y 50 m³. Los biodigestores producen biogás y biol a partir de estiércol de cerdo y de pollo y de aguas negras, lo que beneficia a más de 390000 personas. Un sistema de 10 m³ cuesta US\$ 550, de lo cual el gobierno subvenciona US\$ 67 a posteriori (si está certificado que la instalación funciona bien). Según las metodologías de MDL, el programa evita emitir 167000 tCO₂eq por año (en el fin del 2009). Se sondeó que las mujeres ahorran en promedio 1.75 h cada día por no recoger combustible u ocuparse de los fogones y que las familias ahorran US\$ 120 de combustible por año, así que el biodigestor se paga en 4 o 5 años. Además las familias benefician de mejores ingresos gracias a la dispersión de biol en los cultivos y a la venta del excedente de biol a vecinos. (38) La meta del programa es de instalar 168000 biodigestores dentro del fin del 2012. (39)

2.1.1.6. Otros países asiáticos

Camboya

El número de biodigestores en Camboya está estimado a más de 30000. Junto con el MAFF¹⁸, la SNV estableció en Camboya el *National Biodigester Programme* (NBP). Este programa tiene como objetivo de instalar 17500 biodigestores de tipo chino entre los años 2006 y 2009; después de 15 meses de existencia había construido 6400 biodigestores. El principal obstáculo a la diseminación de esta tecnología es la falta de dinero en efectivo entre los usuarios y también la falta de mecanismos de microcrédito. En el agosto del 2006 se finalizó un estudio de línea base del programa para financiamiento de carbono (MDL¹⁹) (40); la línea base fue revisada en el mayo del 2010 (41). Según Eri Buysman (42), de promedio la cantidad de emisiones de GEI²⁰ ahorrada anualmente por un biodigestor familiar alcanzaría alrededor de 4 tCO₂eq, aunque eso depende muchísimo de la situación local. Los créditos de carbono pueden cubrir mayor parte de los costos de un programa nacional de biogás. (43)

Bangladés

En Bangladés, IDCOL²¹, compañía establecida en el 1997 por el gobierno, está implementando el programa *National Domestic Biogas and Manure Programme* (NDBMP) con el apoyo de la SNV. Financiamiento está proporcionado para la instalación de 37269 biodigestores domésticos entre los

¹⁷ Ministry of Agriculture and Rural Development (ministerio de agricultura y de desarrollo rural)

¹⁸ Ministry of Agriculture, Forests and Fisheries (ministerio de agricultura, bosques y pescarías)

¹⁹ Mecanismo de Desarrollo Limpio (en inglés CDM: Clean Development Mechanism)

²⁰ Gases de Efecto Invernadero

²¹ Infrastructure Development Company Limited

años 2006 y 2012. El objetivo general del NDBMP es de continuar a desarrollar y diseminar domésticos biodigestores en las zonas rurales y así lograr el establecimiento de un sector de biogás comercial y sostenible en Bangladés.

Además, el BCSIR²² firmó en el 2010 un contrato con Win Sources Ltd. para comercializar un biodigestor llevable hecho de fibra de vidrio y de fibra de yute, entonces menos costos que un biodigestor de concreto; el objetivo era de vender en el 2010 3500 unidades. El biodigestor de 6 m³ es construido por *Zendor Fiberglass Industries*, un fabricante bangladésí.

Laos

SNV apoya el DLP²³ (MOAF²⁴) en el desarrollo del programa piloto BPP (*Lao Biogas Pilot Program*) que instaló 1425 biodigestores domésticos entre el 2007 y el 2010.

Pakistán

El potencial de difusión de la tecnología en el país estimado por la SNV es de 5 millones de biodigestores. En el 2007, la SNV, UNDP Pakistán y Winrock International establecieron un programa de biodigestores domésticos, inicialmente en cuatro provincias del país.

Indonesia

En el mayo del 2009 se inició el programa *Indonesia Domestic Biogas Programme*, que es administrado y implementado por la ONG holandesa Hivos²⁵ con la asistencia técnica de SNV. La ONG tiene como objetivo de construir 8000 biodigestores antes del fin del 2012.

2.1.1.7. Tanzania

Tanzania es el único país africano con una tasa de construcción de biodigestores de más de 100 unidades mensuales. El potencial global es estimado a 165000 biodigestores. La agencia CAMARTEC²⁶ promovió el programa nacional *Tanzania Domestic Biogas Program* (TDBP) en Arusha, en cooperación con la GIZ y la SNV. Entre el 2007 y el 2010, el programa instaló 6750 biodigestores. (44)

2.1.1.8. Kenia

La empresa Sky Link Innovators ha instalado entre el 2007 y 2010 200 biodigestores domésticos con cúpula fija (entre 12 y 16 m³), 5 biodigestores en escuelas y 1 en la prisión de Meru, beneficiando al total a 5200 personas. El ahorro de emisiones de CO₂ fue estimado a 1100 tCO₂eq anualmente.

2.1.1.9. Biogas for Better Life

La fundación *Biogas for Better Life* es una iniciativa africana que enfoca a mejorar la salud y la condiciones de vida en África, a disminuir el uso de leña y carbón para cocinar, a mejorar la fertilidad del suelo y la producción agrícola, a reducir las emisiones de GEI y a crear empleos mediante el

²² *Bangladesh Council of Scientific and Industrial Research*

²³ *Department of Livestock and Fisheries* (departamento de ganado y pescarías)

²⁴ *Ministry of Agriculture and Forestry* (ministerio de agricultura y silvicultura)

²⁵ *Humanist Institute for Cooperation with Developing Countries*

²⁶ *Centre for Agricultural Mechanization and Rural Technologies*

desarrollo de un sector comercial y sostenible en el tema de biogás en África. La iniciativa tiene previsto de instalar 2 millones de biodigestores de pequeña escala en 10 años a partir del 2007 y su meta global es de desarrollar un sector africano de biogás sostenible y comercial. 27 países africanos toman parte en la fundación, que prioriza el desarrollo de programas nacionales de biogás según el potencial de cada país. Instalaciones ya empezaron en Ruanda y Etiopia. (24)

2.1.2. América Latina

El colombiano Raúl Botero fue uno de los primeros a investigar la tecnología de biodigestores para aplicarla al contexto natural y económico de América latina. Publicó en el 1987 con Thomas R. Preston un manual de construcción y utilización de un biodigestor de bajo costo de tipo taiwanés (4).

El primer Taller de Intercambio de Experiencias de Biodigestores en América Latina tuvo lugar en el mayo del 2009 en el CEDECAP en Cajamarca; aprovechando esta oportunidad fue fundada la RedBioLAC²⁷, que se dio como misión de ser una red que aglutina a las instituciones relacionadas con la investigación aplicada y en la difusión de la biodigestión anaeróbica para estimular el tratamiento integral y el manejo de los residuos orgánicos, como estrategias para mejorar el bienestar de la población de Latinoamérica y el Caribe (45). Después del taller del 2009, la red instituyó de tener un congreso internacional anual, que tuvo lugar en el 2010 en Costa Rica y en el 2011 en México. La RedBioLAC tiene como objetivos de:

- Intercambiar información y experiencias entre las instituciones participantes en la RedBioLAC,
- Identificar y superar las barreras técnicas, ambientales, sociales y económicas,
- Proponer proyectos, mecanismos e ideas para difundir la tecnología de biodigestores en LAC,
- Generar alianzas que faciliten la adopción de la tecnología de biodigestores,
- Sistematizar la investigación y la diseminación entre socios (Salubridad, Financiamiento, Política, Educación, Industrialización y Comercialización),
- Promover la incorporación de otras organizaciones, instituciones e investigadores en el campo de los biodigestores,
- Fomentar acciones de influencia e incidencia de políticas relacionadas a los biodigestores.

Las instituciones siguientes participan en la RedBioLAC:

- E.E.U.U.: Green Empowerment, BID / FOMIN
- Alemania: WISIONS
- México: IIRI
- Honduras: SVN, Zamorano
- Nicaragua: Aso Fénix
- Costa Rica: Biosinergia Alternativa S.A., Viogaz, Universidad EARTH
- Colombia: Universidad del Atlántico
- Ecuador: CARE-Ecuador

²⁷ Red de Biodigestores para Latinoamérica y el Caribe

- España/Bolivia: CIMNE y GIZ Bolivia
- Bolivia: IIDEPROQ (UMSA)
- Perú: CIDELSA (empresa), Soluciones Prácticas, UNSAAC, UPC (España)

2.1.2.1. México

El IRRI²⁸ desarrolló un modelo de biodigestor tubular, de PP/PE de alta densidad, comercializado por Sistema Biobolsa. Pero parece que todavía no está muy difundido.

En la granja La Estrella en Guanajuato, México, generan electricidad a partir del biogás producido por 300 cabezas de ganado. Este ganado origina diariamente 25 toneladas de estiércol, que genera biogás con lo cual se produce 145 kW de electricidad, lo equivalente a llevar luz a 345 viviendas. Con esta energía eléctrica se alimenta en la chacra a las máquinas de ordeñar y a los refrigeradores, además de alumbrar 8.5 hectáreas de la granja así como de llevar electricidad a las oficinas administrativas. El gobierno del estado de Guanajuato está a favor de este proceso y quiere instalar 321 biodigestores en el periodo 2009-2012. (46)

2.1.2.2. Cuba

Hubo 70 pequeños biodigestores instalados en la isla hasta el 2001, con una tasa de crecimiento con respecto al 2000 de 16%. La provincia Pinar de Río es la provincia donde la tecnología está la más difundida, con 17 biodigestores implementados. (47)

2.1.2.3. Honduras

Existe una experiencia en la escuela agrícola panamericana El Zamorano, donde se tratan aguas residuales y desechos orgánicos en biodigestores de tipo UASB²⁹. Este modelo, desarrollado en los años 70 por la Universidad Agrícola de Wageningen (Holanda), de diseño compacto, encontró éxito a escala industrial. Funcionando en flujo vertical, está dedicado sobre todo al tratamiento de aguas residuales. (48)

2.1.2.4. Nicaragua

Hay algunas experiencias con AsoFénix en Nicaragua, que instaló biodigestores del modelo IRRI en 5 comunidades, pero al parecer dejaron de funcionar.

2.1.2.5. Costa Rica

El grupo de turismo rural con las mujeres de Santa Fe instaló en el año 2006 16 biodigestores de tipo media bolsa, o sea con tanque de concreto y campana de plástico. Además realizó una página web para describir su experiencia y difundir esta tecnología. (6)

²⁸ Instituto Internacional de Recursos Renovables

²⁹ *Up-flow Anaerobic Sludge Blanket*

La Universidad EARTH, donde trabaja ahora Raúl Botero, viene impulsando el tema de los biodigestores desde hace más de 15 años. En el 2009 tenía instalados ocho biodigestores, dos alimentados con excretas humanas y seis con excretas animales. (49)

Además, el biodigestor tubular está difundido por varias empresas e instituciones, incluyendo el Ministerio de Agricultura y Ganadería, la municipalidad de Heredia, INBIOparque, el proyecto POCOTSI de la Fundación Neotrópica, la cooperativa Dos Pinos, el Pastoral Social de Limón y Biosinergia Alternativa. La Universidad EARTH estimó a 2000 unidades familiares y 100 unidades industriales en funcionamiento en el 2009. (49)

2.1.2.6. Colombia

En el marco del Programa Especial de Energía de Colombia in Barranquilla, 25 biodigestores fueron construidos entre el año 1985 y el año 1992. Pero ahora se encuentran fuera de servicio.

El Dr. Thomas Preston trajo el modelo taiwanés a Colombia, donde con el profesor Raúl Botero realizó mejoras y adaptaciones de este modelo, en el ámbito del CIPAV³⁰ en Cali.

APROTEC, una empresa especializada en el desarrollo de proyectos para el aprovechamiento de las Energías Renovables y la aplicación de Tecnologías Apropriadas, instaló biodigestores, pero pocos, o al menos no están documentados. La Universidad del Atlántico se metió también en el tema de la biodigestión, pero sin aplicaciones de gran amplitud.

2.1.2.7. Ecuador

La ONG CARE-Ecuador está implementando un proyecto piloto de biodigestores tipo hindú (cúpula flotante) en Ibarra. Además existen unos 10 biodigestores en el valle de Intag, en el ámbito de un proyecto financiado por el Fondo de Pequeñas Donaciones del FMAM³¹ (SGP³²).

2.1.2.8. Bolivia

Cooperación alemana: GIZ: EnDev Bolivia (50) (15)

En Bolivia, es la cooperación alemana GIZ, con su programa EnDev – Acceso a la Energía, que está impulsando la difusión de la tecnología; la GIZ empezó a trabajar sobre la diseminación de biodigestores en Cochabamba en el 1986, en cooperación con la UMSS³³. El programa EnDev existe en Bolivia desde el 1990 (51). Gracias a este programa se tienen aportes valiosos en cuanto a la implementación de biodigestores tubulares en regiones frías, lo que caracteriza el altiplano boliviano, sobre todo gracias al trabajo de Jaime Martí Herrero. Luego existen varias ONGs que han hecho proyectos por su cuenta, o con capacitación por la GIZ, o directamente en alianza con ella. No hay empresas fabricantes de biodigestores.

El programa EnDev Bolivia – Acceso a la Energía tiene un total de 329 biodigestores instalados en toda Bolivia (principalmente en las provincias de Cochabamba y La Paz), incluyendo:

³⁰ Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria

³¹ Fondo para el Medio Ambiente Mundial

³² *Small Grants Program*

³³ Universidad Mayor de San Simón

- Con la IRG-USAID: instalación de 76 biodigestores en la zona del lago Titicaca (provincia de La Paz). En el marzo del 2011 se habían ejecutados 59 biodigestores. (15)
- Con CIPCA: 10 biodigestores ejecutados en el 2010 en la provincia de La Paz (15)
- Con Cetha socamani: 8 biodigestores ejecutados en el 2010 en la provincia de Oruro. Faltan 12 por ejecutar. (15)



Ilustración 2.a: El CIB3 antes de su inauguración, en marzo 2011 (9)

El 10 de mayo del 2011 en Viacha (La Paz), la GIZ inauguró el CIB3³⁴ que se dedica a estudiar el uso y la generación de energías alternativas a partir de residuos orgánicos de origen animal y vegetal. Además de la GIZ, el centro tiene como socios fundadores la UMSA³⁵ a través del IIDEPROQ³⁶ y del IIAREN³⁷, el CIMNE³⁸ de España y el CPTS³⁹.

Objetivos del programa EnDev:

- **A corto plazo:** Capacitar a más instituciones en el diseño, instalación y gestión de proyectos de biodigestores familiares en Bolivia, para diseminar la tecnología entre las familias rurales.
- **A medio plazo:** Divulgar en todo el territorio nacional la tecnología de biodigestores, de manera que las familias conozcan la tecnología y a partir de esto, bajo sus propios criterios, decidan si quieren incorporarlo a su sistema productivo. Comenzar con los primeros proyectos gestionados por las propias comunidades y asociaciones de productores.
- **A largo plazo:** Democratizar la tecnología de manera que las comunidades, asociaciones de productores, alcaldías, etc. puedan desarrollar y gestionar sus propios proyectos de biodigestores sin asistencia externa ni subvención de la tecnología.

GIZ-Energía aporta asistencia en:

- El asesoramiento técnico para cualquier biodigestor o proyecto de biodigestores.
- La capacitación técnica y teórica a grupos de profesionales e instituciones a través de talleres.
- La capacitación técnica a familias, técnicos locales y asociaciones de productores a través de talleres.

³⁴ Centro de Investigaciones de Biodigestores, Biogás y Biol

³⁵ Universidad Mayor de San Andrés

³⁶ Instituto de Investigación y Desarrollo de Procesos Químicos

³⁷ Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Recursos Naturales

³⁸ Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería

³⁹ Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles de Bolivia

- El subsidio del 30% en costo de los materiales de los biodigestores de ejecución.
- El subsidio del 50% en costo de materiales de biodigestores demostrativos. Podrá haber dos biodigestores demostrativos por comunidad donde no haya ya otros biodigestores. Para la instalación de dichos biodigestores se debe realizar un taller comunal reuniendo a los vecinos. Este apoyo sólo será efectivo a corto plazo en la etapa de diseminación.
- El apoyo a un ciudadano con un pequeño sueldo para gestión del proyecto de su comunidad.
- La coordinación y la difusión de la información de biodigestores, como medio de contacto entre instituciones interesadas en biogás en Bolivia.

La estrategia de ejecución de EnDev puede adoptar la forma de:

- **Alianzas estratégicas:** existen agrupaciones de productores que reúnen a gran número de familias ya organizadas. Las asociaciones de productores de leche de cada región son las más interesadas en los biodigestores y están compuestas por pequeñas familias productoras, con 3 a 10 cabezas de ganado y una producción por familia media de 20 a 70 litros de leche por día. La alianza con estas asociaciones, grandes y pequeñas, refuerza su estructura, aumenta el empoderamiento sobre la tecnología y es un punto muy importante en la sostenibilidad del proyecto. Estas asociaciones serán las que gestionen directamente su proyecto, y la GIZ-Energía aporta el subsidio y asesoramiento técnico durante todo el proceso. Dentro de las alianzas estratégicas deben entrar las empresas lecheras, pues tienen contacto directo con todos los pequeños productores. Además están los municipios donde la actividad lechera es importante. Como medio de financiamiento alternativo habrá que establecer alianzas con instituciones de microcrédito que trabajen directamente con las familias para asegurar una mayor sostenibilidad.
- **Proyectos con ONGs:** las ONGs que trabajan en el ámbito rural tienen como blanco familias que normalmente poseen dos o tres cabezas de ganado y no son lecheras. Las ONGs capacitadas a través de los talleres (o capacitadas anteriormente en la ejecución completa de proyectos de biodigestores) suelen iniciar sus proyectos con biodigestores demostrativos. A partir de entonces comienzan con proyectos más grandes de ejecución. Se apoya a las ONGs con asesoramiento técnico y subsidio del 30% del coste en material para proyectos de ejecución y 50% para proyectos demostrativos.
- **Proyectos comunales:** el trabajo directo con comunidades o pequeñas asociaciones de productores conlleva mayor trabajo, pero asegura conocer de primera mano las impresiones, comentarios, necesidades y formas de trabajo de las familias objetivo del proyecto. Por ello, aunque implique un trabajo mayor que la colaboración con ONGs o grandes organismos, reporta un conocimiento de la realidad rural imprescindible para el manejo del proyecto global. Los proyectos comunales se basan en la gestión del proyecto por parte de la propia comunidad, tanto en la recolección de dinero de las familias, compra de materiales, fechas de reuniones, y rendición de cuentas.

Financieros:

- Gobiernos de Alemania y Holanda,
- GIZ-Energía,

- ONGs, municipios, agencias de cooperación,
- Familias, asociaciones de leche, etc.

Cada biodigestor familiar se cofinancia aproximadamente hasta con un 20% del costo en materiales. Esta colaboración está abierta a ser complementada por otros financiadores (municipios, agencias de cooperación, ONGs, etc.) siendo la contraparte de la familia un mínimo del 50% del costo en materiales.

Modelos desarrollados

En el ámbito del proyecto EnDev-Bolivia fueron propuestos tres modelos tipos de biodigestores tubulares unifamiliares, adecuados a cada una de las grandes regiones climáticas del país, altiplano, valle y trópico. Fueron diseñados con el objetivo de producir biogás para 3 horas de cocina (con un quemador de tres líneas) y una producción mejorada de fertilizante, o sea con tiempos de retención bastante largos (cf. Tabla 1.e). (3)

Para tener biogás para 3 horas de cocina se necesitan 20 kg de estiércol a cargar diariamente. Así están dirigidos los modelos a familias rurales, pudiendo recoger esta cantidad y teniendo acceso a agua. Tal cantidad de estiércol se obtiene con 1 a 2 vacas tabuladas o 3 a 4 vacas pastoreadas. Dados estos requisitos, la familia idónea es la pequeña productora de leche.

Los modelos propuestos pueden ser adaptados según el contexto. Por ejemplo, para un productor de chanchos en el valle, habrá que instalar un biodigestor tipo altiplano y no tipo valle, porque el estiércol de chanco demora más que el de vaca a ser descompuesto. (9)

Otra adaptación que se puede hacer es poner varios biodigestores en serie, cuando hay mucho volumen de estiércol. Como los biodigestores son frágiles, así si se rompe uno, no se rompe toda la instalación y todavía se puede tener biogás y biol. (9)

Biodigestor familiar modelo para el altiplano, con invernadero	
Características de funcionamiento	
Carga diaria	20 kg de estiércol de vaca + 60 L de agua
Producción diaria de biogás	700-750 litros
Producción diaria de biol	80 litros
Tiempo de retención	75 días
Tiempo medio de inicialización, para empezar a funcionar	2 meses
Temperatura de trabajo	10°C
Temperatura ambiente	-12 a 20°C
Dimensiones	
Volumen líquido	6000 L (6 m ³)
Volumen gaseoso	2000 L (2 m ³)
Volumen total	8000 L (8 m ³)
Ancho de rollo	1.75 m
Longitud del biodigestor y de la zanja	8.1 m
Relación L/D	7.3
Longitud de plástico por capa (se añade 1 m para amarrar)	9.1 m
PE negro humo total	18.2 m

Ancho inferior de zanja	0.6 m
Ancho superior de zanja	0.8 m
Profundidad de zanja	0.9 m
Ancho de tapiales	0.4 m
Altura tapial sur (en el hemisferio sur)	1.5 m
Altura tapial norte (en el hemisferio sur)	0.75 m
Longitud plástico de invernadero de 2 m de ancho, para el invernadero	9 m
Longitud plástico de invernadero por tanque de reservorio	3 m
Longitud total plástico de invernadero (3 tanques de reservorio)	18 m

Tabla 2.a: Biodigestor familiar modelo altiplano, desarrollado por la GIZ en Bolivia (3)

¡Próxima evolución!

En marzo del 2011, la autora de este documento se enteró de que la próxima evolución del biodigestor adecuado al altiplano (desarrollado por Jaime Martí) será dimensiones de 7 m de longitud y 2 m de ancho de rollo, lo que permite alcanzar un muy bueno tiempo de retención de 80 días. (9) Recuerde que más largo es el tiempo de retención, más biogás y mejor biol estarán aprovechando los usuarios.

En el valle, puede helar de vez en cuando, pero nunca en varias noches seguidas. Por tanto no es necesario una carpa solar, sino un tejadillo o semisombra para proteger el biodigestor de los rayos ultravioletas del sol.

Biodigestor familiar modelo para el valle, a proteger del sol	
Características de funcionamiento	
Carga diaria	20 kg de estiércol de vaca + 60 L de agua
Producción diaria de biogás	700-750 litros
Producción diaria de biol	80 litros
Tiempo de retención	37.5 días
Tiempo medio de inicialización, para empezar a funcionar	1 mes
Temperatura de trabajo	20°C
Temperatura ambiente	15 a 20°C
Dimensiones	
Volumen líquido	3000 L (3 m ³)
Volumen gaseoso	1000 L (1 m ³)
Volumen total	4000 L (4 m ³)
Ancho de rollo	1.5 m
Longitud del biodigestor y de la zanja	5.6 m
Relación L/D	5.9
Longitud de plástico por capa (se añade 1 m para amarrar)	6.6 m
PE negro humo total	13.2 m
Ancho inferior de zanja	0.5 m
Ancho superior de zanja	0.7 m

Profundidad de zanja	0.8 m
Longitud plástico de reservorio por tanque	3 m
Longitud total plástico de reservorio (3 tanques)	9 m

Tabla 2.b: Biodigestor familiar modelo valle, desarrollado por la GIZ en Bolivia (3)

La región tropical es la natural para el biodigestor, es donde su desarrollo empezó. Sólo conviene proteger el biodigestor de la radiación directa del sol mediante un tejadillo.

Biodigestor familiar modelo para el trópico, a proteger del sol	
Características de funcionamiento	
Carga diaria	20 kg de estiércol de vaca + 60 L de agua
Producción diaria de biogás	700-750 litros
Producción diaria de biol	80 litros
Tiempo de retención	25 días
Tiempo medio de inicialización, para empezar a funcionar	3 semanas
Temperatura de trabajo	30°C
Temperatura ambiente	13 a 38°C
Dimensiones	
Volumen líquido	2000 L (2 m ³)
Volumen gaseoso	666 L (0.67 m ³)
Volumen total	2666 L (2.67 m ³)
Ancho de rollo	1.25 m
Longitud del biodigestor y de la zanja	5.3 m
Relación L/D	6.7
Longitud de plástico por capa (se añade 1 m para amarrar)	6.3 m
PE negro humo total	12.6 m
Ancho inferior de zanja	0.4 m
Ancho superior de zanja	0.6 m
Profundidad de zanja	0.7 m
Longitud plástico de reservorio por tanque	3 m
Longitud total plástico de reservorio (3 tanques)	9 m

Tabla 2.c: Biodigestor familiar modelo valle, desarrollado por la GIZ en Bolivia (3)

También propuso la GIZ un modelo de biodigestor para el saneamiento básico de baños; para obtener una mayor depuración de las aguas negras, se deben considerar tiempos de retención del doble de los utilizados para heces animales. Es necesario reducir la descarga de agua en los baños, usualmente de 5 L, a 3 L, introduciendo en el tanque una botella de refresco llena de agua de 2 L. se puede disfrutar del biogás producido para una ducha caliente de media hora por día.

Biodigestor familiar modelo para saneamiento básico de baños, a proteger del sol	
Características de funcionamiento	
Familia	2 adultos y 4 niños
Carga diaria	1.4 kg de heces + 15.6 L de agua de descarga del baño
Producción diaria de biogás	75 litros (0.5 hora de ducha caliente)

Producción diaria de biol de uso restringido		17 litros		
	Región	Trópico	Valle	Altiplano
Tiempo de retención		50 días	70 días	120 días
Volumen líquido		850 L	1190 L	2040 L
Volumen gaseoso		280 L	393 L	673 L
Volumen total		1130 L	1583 L	2713 L
Ancho de rollo		1 m	1 m	1.25 m
Longitud del biodigestor y de la zanja		3.5 m	5 m	5.5 m
Relación L/D		5.5	7.9	6.9
Longitud de plástico por capa (se añade 1 m para amarrar)		4.5 m	6 m	6.5 m
PE negro humo total		9 m	12 m	13 m
Ancho inferior de zanja		0.3 m	0.3 m	0.4 m
Ancho superior de zanja		0.5 m	0.5 m	0.6 m
Profundidad de zanja		0.6 m	0.6 m	0.7 m
Costo total estimado		US\$ 60.2	US\$ 68.5	US\$ 80.6

Tabla 2.d: Biodigestor familiar para saneamiento básico de baños, desarrollado por la GIZ en Bolivia (3)

Estos modelos de la GIZ se cargan de la manera siguiente:

Tipo de animal	Carga diaria	Detalle de carga
 2-3 vacas		20 Kg Estiercol + 60 Lt Agua (1:3)
 6 - 7 chanchos		16 Kg Estiercol + 64 Lt Agua (1:4)
 Varios animales		16 Kg Estiercol + 64 Lt Agua (1:4)

Ilustración 2.b: Carga diaria según el tipo de estiércol para los modelos Altiplano, Valle y Trópico de la GIZ (19)

Otras experiencias

- CUNA: proyecto de 36 biodigestores en Tiwanaku (provincia de La Paz)
- PROSUCO: proyecto de 20 biodigestores en la provincia La Paz
- APROTEC: ejecutó 38 biodigestores en el 2010, fue capacitado por EnDev Bolivia
- IIDEPROQ (UMSA)
- Programa “Viviendas autoenergéticas” de Tecnologías en Desarrollo (Oliver Campero)

La ONG Tecnologías en Desarrollo, junto con su microempresa TECALTEMA, instaló unos 300 biodigestores a partir del año 2001. Pero habría desatendido el aspecto social y el seguimiento del programa, lo que generó fracasos.

En total, habría entre 1000 a 1500 instalaciones, pero no se sabe cuántas funcionan de verdad. Según Jaime Martí Herrero, debería haber menos del 50% funcionando, eso siendo una estimación optimista.

2.1.2.9. Brasil

En Brasil hubo experiencias con biodigestores desde la década 70, tras la crisis mundial de petróleo; los modelos que llegaron al país en esta época fueron los modelos chino e hindú, éste se volviendo el más difundido. Había muchas expectativas en cuanto a esta tecnología, sobre todo en la región pobre y agrícola del nordeste. Fueron implementados programas de difusión; pero los resultados no fueron suficientes para dar continuidad a estos programas. Por ejemplo, en el estado de Paraíba en los años 80, la EMATER instaló mediante un convenio con el Ministerio de Minas y Energía cerca de 200 biodigestores en propiedades rurales. Pero en el 2002, menos de 5% quedaban en funcionamiento y los dueños del resto no querían reactivarlos.

Al constatar que los modelos chino y hindú tenían desventajas: falta de estanquidad en el caso del chino y alto costo fácil corrosión de la cúpula de acero, induciendo constante mantenimiento en el caso del hindú, el profesor Jaime Germano do Nascimento desarrolló un modelo propio, llamado "biodigestor-PE" (refiriéndose al estado de Pernambuco, donde fue desarrollado), como variante del modelo chino. Este nuevo diseño permite dar más énfasis en la producción de fertilizante, que es lo que beneficia más al pequeño agricultor. La principal diferencia con el modelo chino es que la campana de gas funciona independientemente del tanque de digestión; y como esta cúpula metálica nunca está en contacto con el sustrato, no sufre mucho de corrosión. Este biodigestor da excelentes resultados en cuanto a la producción de biogás y de biofertilizante. (52)

Otro modelo que parece ser bastante difundido en Brasil, pero en chacras medianas a grandes, es un modelo similar al tipo media bolsa, también llamado allá "da Marinha" (de la marina) o sea con un tanque de digestión de mampostería y una campana de gas hecha de material flexible, como el vinilo o PVC. (7)

Existen experiencias de producción de electricidad a partir de biogás, pero no se encuentra adecuado para pequeños productores agrícolas.

Estudios realizados en Brasil por SEIXAS concluyeron que la cantidad de biogás necesitada por una familia rural mediana para sus necesidades de cocción, iluminación y baño serían: (53)

- 1440 L/día para cocción
- 1080 L/día para iluminación
- 1000 L/día para baño

Del modelo UASB se encuentran más de 2000 unidades en Brasil, con aplicación en el tratamiento de aguas residuales. (48)

2.1.2.10. Chile

La empresa alemana UTEC GmbH y la Corporación Servicio Evangélico para el Desarrollo (SEPADE) realizaron entre el enero del 2007 y el diciembre del 2008 una experiencia piloto de generación de energía eléctrica a partir de biogás. Para ello se contempló la instalación de un biodigestor y de un generador para la producción de energía eléctrica, que suministró electricidad al CEA⁴⁰ ubicado en la comuna de Negrete.

Existe en el Chile una distribución comercial de biodigestores, por ejemplo por las empresas Bioteqsur (biodigestores domésticos y agroindustriales) o CIDELSA (producto doméstico DELTABIOGAS).

2.1.3. Perú

En el Perú el desarrollo de la tecnología está creciendo lentamente. Hubo en los años 80 primeras experiencias con biodigestores, por ejemplo en Cajamarca donde ITINTEC y la Universidad de Cajamarca instalaron 100 biodigestores de tipo de chino. Pero ahora ninguno de ellos está en funcionamiento.

- Un ejemplo de biodigestor de modelo chino funcionando es el biodigestor instalado en la chacra ecológica de los ingenieros agrónomos Ulises Moreno y Carmen Felipe Morales, en Casa Blanca, Pachacámac. Lo hicieron instalar, bajo su propia supervisión, en el año 1994, lo que costó US\$ 1250. La razón por implementarlo era de poder disponer de un fertilizante orgánico a bajo costo, se tratando de una chacra ecológica; pero luego también vieron un interés en el biogás y empezaron investigar en ello. Cargan el biodigestor anualmente con 1 t de precompost, hecho a partir de residuos agrícolas y estiércol de cuy, añadiendo 4 a 5 L de líquido digestivo de vacuno, y con agua hasta llenar el 80% del biodigestor. Semanalmente lo alimentan con 50 kg de estiércol de cuy y 150 L de agua. (11)
- Soluciones Prácticas (13) (16)

En el departamento de Cajamarca, la ONG Soluciones Prácticas instaló desde el 2007 24 biodigestores de un volumen total de 10 m³ cada uno. Los primeros fueron hechos de PE y los segundos de geomembraba de PVC; estos últimos fueron comprados a la empresa CIDELSA. Empezó también a difundir los biodigestores tubulares en la región de Sicuani, Cusco.

Objetivos:

- Lograr la adopción de la tecnología por parte de los beneficiarios
- Cubrir parte de las necesidades (cocción, producción agrícola)
- Determinar un modelo adecuado e ideal del sistema
- Difundir la tecnología

Criterios para la selección de beneficiarios de biodigestores tubulares unifamiliares:

- Interés y necesidad de la familia beneficiaria
- Disponibilidad para participar en capacitaciones
- Aporte económico y de mano de obra en los trabajos
- Cumple las condiciones establecidas en el proceso de evaluación de recurso

⁴⁰ Centro Educacional Agroalimentario

- Compromiso en las actividades de monitoreo y seguimiento después de la instalación

La ONG tiene también en la localidad de Baños del Inca, cerca de Cajamarca, una planta piloto de biodigestores, implementada en un terreno del INIA⁴¹, donde hace investigaciones. Hay dos biodigestores instalados, uno con invernadero de un agua y otro con invernadero de cúpula. Así, la Dra. Anna Garfí, de la UPC⁴², hizo en la planta piloto un estudio de los parámetros de diseño y de operación de los biodigestores (10).



Ilustración 2.c: Biodigestor con invernadero de cúpula en el INIA (13)



Ilustración 2.d: Biodigestor con invernadero un agua en el INIA (13)

- IAA⁴³ en el Cusco: el IAA tiene biodigestores instalados en el instituto, a fines de investigación y demostración, y instaló 15 biodigestores de 5 m³ en la microcuenca de Jabón Mayo, en el campo cusqueño.
- La UNSAAC⁴⁴, en el Cusco, tiene una planta piloto con 3 biodigestores, donde se llevan a cabo experimentos para adaptar los parámetros de operación a las condiciones locales, con la meta de aumentar la producción de biogás, mejorar su aprovechamiento en cocinas adaptadas y determinar las dosis de aplicación del biol en función de los cultivos. (54)
- La empresa CIDELSA (55), con sede en Lima, ha desarrollado con apoyo de Jaime Martí Herrero y Raúl Botero un modelo de biodigestor familiar tubular prefabricado de geomembrana de PVC; el biodigestor tiene una entrada para la carga, una salida para el biol y otra salida para la purga de sólidos sedimentables. Es fácil de reparar en caso de accidente, tiene una duración de más de diez años y existen en varios volúmenes para adaptarse a las necesidades. CIDELSA vende también biodigestores de gran tamaño, o sea laguna cubierta, de geomembrana de PVC o de EPDM⁴⁵, y generadores eléctricos a biogás de 1 kW a 150 kW.

⁴¹ Instituto Nacional de Innovación Agraria

⁴² Universidad Politécnica de Catalunya

⁴³ Instituto para una Alternativa Agraria

⁴⁴ Universidad Nacional de Santo Antonio Abad del Cusco

⁴⁵ Caucho de etileno propileno dieno

Un ejemplo de biodigestores a gran escala se encuentra en la granja La Calera, en Chincha, Ica. La granja tiene 5 millones de pollos, lo que es la concentración de pollos más grande del mundo. Consta con dos biodigestores de capacidad enorme de 5000 m³ cada uno. Se cargan 550 t de estiércol cada día. Inicialmente la inversión de 1,5 M US\$ y el tiempo de retorno de esta inversión de 1.5 año. El granjero quiere doblar la capacitación, para ahora instalar calefacción para los pollos. (56)

2.2. Difusión

2.2.1. Responder a las necesidades

Las familias o productores pueden tener varias razones para querer instalar un biodigestor. Se debe encuestar cuales son estas razones y si el biodigestor podría satisfacerlas. En experiencias en Bolivia y en el Perú, se notó que en general, lo que interesaba más a las familias en el biodigestor era el bioabono, y no el biogás, a la sorpresa inicial de las instituciones difundiendo la tecnología.

2.2.1.1. Identificación de necesidades

Las personas interesadas pueden ser familias, pequeñas chacras, asociaciones de productores, pequeñas industrias...

Tipo de entidad	Necesidades en biogás	Necesidades en biol
Familia	3 a 4 horas de cocina por día	Para pequeñas parcelas de cultivos Venta del excedente
Pequeños productores agrícolas	3 a 4 horas de cocina por día Calefacción de animales (chanchos, pollos)	Para los cultivos
Chacras medianas a grandes	Calefacción de animales (chanchos, pollos) Iluminación Generación de electricidad	Para los cultivos
Pequeñas industrias no agrícolas	Calefacción Iluminación Generación de electricidad	-

Tabla 2.e: Necesidades típicas según el tipo de entidad solicitante

En general las familias no son interesadas en la calefacción para sí mismas. No la ven prioritaria para ellas y no existe en la cultura, así que prefieren abrigarse más. Eventualmente la consideran para animales, como los cerdos, ya que es un ganado sensible al frío y que no es raro que los lechones recién nacidos mueran en las noches de invierno. El ganado el más sensible al frío es el porcino, luego el vacuno, seguido por el ovino y por fin la llama. (9)

El dimensionamiento del biodigestor se puede ver guiado por varios parámetros, como fue descrito en el §1.2.3.2.3:

- según la disponibilidad de estiércol,
- según las necesidades de biogás,
- según el espacio disponible para la instalación del biodigestor.

2.2.1.2. Identificación de recursos

La alimentación del biodigestor se realiza diariamente con una mezcla de estiércol con agua. Por tanto, el usuario potencial debe disponer de estos recursos, en cantidades suficientes. Los recursos en estiércol y agua se encuentran así factores limitantes a la difusión de biodigestores, ya que no todas las familias disponen del número mínimo de ganado para satisfacer sus necesidades en combustible o fertilizante, o tienen un fácil acceso a agua.

Se pueden emplear varios tipos de estiércol para la carga, aunque el estiércol de vacuno sea el más equilibrado. Si se usan estiércoles de otros orígenes, se recomienda añadir en la primera carga contenido de rumen de vacuno, para que aporte las bacterias necesarias al proceso de metanización, y mezclar de vez en cuando un poco de estiércol de vaca al resto de la carga. Todavía hay mucha investigación que hacer en cuanto a las diferentes mezclas posibles de estiércoles.

La familia candidata deberá también poder financiar una parte de la implementación del biodigestor, a través de la compra de algunos materiales, el suministro de materiales locales (adobe, madera, etc.) y el suministro de mano de obra (cf. §2.2.2).

2.2.1.3. Identificación del modelo adaptado

Según el país de implementación, se puede considerar mejor instalar un biodigestor no tubular, por ejemplo de tipo chino o hindú u otro modelo, si ya tiene un nivel de difusión importante en el país. Sin embargo, en este párrafo se tratará solamente de un biodigestor de plástico tubular, puesto que aquí en el Perú, se tiene más experiencia en cuanto a este modelo.

2.2.1.3.1. Características

Se deben conocer las temperaturas medias del lugar, durante el año, para determinar el modelo adecuado. La metanización es un proceso que se desarrolla más fácilmente a temperaturas incluidas entre 30 y 40°C, así que el medio ambiente tropical es natural para la implementación de biodigestores. Sin embargo, se pueden acomodar en climas menos hospitalarios, gracias a algunas adaptaciones.

Temperatura ambiente	Altura sobre el nivel del mar (m)	Tipo de modelo adecuado	Temperatura de trabajo
-12 a 20°C	2900-4500	Altiplano	6-16°C (con invernadero)
5-30°C	1800-2900	Valle	15-20°C
13-38°C	0-1800	Trópico	25-30°C

Tabla 2.f: Determinación del modelo adecuado según las condiciones ambientales (3)

La Tabla 2.f da una primera idea del modelo a utilizar según el tipo de medio ambiente; se trata de los modelos desarrollados por la GIZ en Bolivia, que producen entre 700 y 750 L de biogás y 80 L de biol diariamente, cargándolos con 20 kg de estiércol de vaca (cf. §2.1.2.8). Pero si eso no conviene a las necesidades o a los recursos del usuario potencial, se debe dimensionar el biodigestor utilizando el método proporcionado en el §1.2.3.2).

Sin embargo, si se utilizan los modelos de la GIZ, también en este caso se pueden hacer cambios; por ejemplo, para un productor de cerdos en el valle, será más adecuado un biodigestor de tipo altiplano, que ofrece mayor tiempo de retención, ya que el estiércol de chancho se demora más que el de vacuno para ser digerido.

Por fin se debe estudiar la disponibilidad del plástico para fabricar el biodigestor en la región considerada: polietileno tubular de 300 µm de grosor, geomembrana de PVC, etc.

2.2.1.3.2. Presupuesto

Conducción de biogás	Material	Unidades por biodigestor	Precio unidad (US\$)	Precio por biodigestor (US\$)
	Tubería de PVC de ½"	± 25 m	0.67	16.67
	Llaves de bola ½" de plástico	4	4.67	18.67
	Flange ½' de plástico	2	2.67	5.33
	Codos PVC ½"	4	0.20	0.80
	Niple PVC ½"	2	0.34	0.67
	Tee PVC ½"	4	0.33	1.33
	Teflón	2	0.20	0.40

Tabla 2.g: Materiales y presupuesto estimado para la conducción de biogás de un biodigestor para el altiplano, en La Paz, Bolivia (US\$ 1 = Bs. 7.5, abril del 2008) (3)

Cocina	Material	Unidades por biodigestor	Precio unidad (US\$)	Precio por biodigestor (US\$)
	Codo metálico ½"	2	0.40	0.80
	Tubos metálicos ½", 12 cm	2	0.94	1.87
	Tubos metálicos ½", 7 cm	2	0.67	1.33

Tabla 2.h: Materiales y presupuesto estimado para la cocina de un biodigestor para el altiplano, en La Paz, Bolivia (US\$ 1 = Bs. 7.5, abril del 2008) (3)

Reactor	Material	Unidades por biodigestor	Precio unidad (US\$)	Precio por biodigestor (US\$)
	Tubería de PVC 6"	2 m	6.30	12.6
	Liga de neumático	60 m	0.20	12
	Polietileno tubular (300 µm, color negro humo)	21.2m	5.65	119.68
	Carpasolar	9 m	3.33	30

Tabla 2.i: Materiales y presupuesto estimado para el reactor de un biodigestor para el altiplano, en La Paz, Bolivia (US\$ 1 = Bs. 7.5, abril del 2008) (3)

Costo total del biodigestor modelo altiplano en abril del 2008 en La Paz: **US\$ 222.15**. En eso no se cuenta el costo de la instalación, sino del material solo.

El modelo valle es más barato y el modelo trópico aún más, porque son de tamaños reducidos relativamente al modelo altiplano y no necesitan invernadero.

Costos de un biodigestor de geomembrana de PVC de volumen total 10 m³ (13):

- Geomembrana de PVC comprada a CIDELSA: S/.900

- Material: S/.500
- Mano de obra: S/.300
- Otros: S/.200

O sea un total de S/.1900. CIDELSA comercializa también modelos DELTABIOGAS de 5 y 8 m³, por tanto menos caros.

2.2.2. Modelo de gestión

2.2.2.1. Aspectos de los modelos de gestión

Como lo concluyo en el 2009 el primer taller de intercambio de experiencias de biodigestores en América Latina, existen varios mecanismos de financiamiento (8):

- Privados:
 - Entidades financieras ligadas a la actividad agrícola,
 - Empresas teniendo interés en reforzar su responsabilidad social (ej. Gloria, Nestlé, PIL...)
 - Ventanas de financiamiento externo, fondos privados mediante ONGs, fundaciones...
- Estatales:
 - Incorporación de la tecnología en programas de gobierno,
 - Programas de gestión ambiental

Para garantizar la sostenibilidad de los sistemas, se busca realizar:

- Transferencia de conocimientos
- Formación / capacitación de promotores
- Fortalecimiento de capacidades locales (familias, municipios, etc.)
- Inducción al uso y aprovechamiento de productos del biodigestor

En este ámbito, los roles de las diferentes instituciones:

- Van de acuerdo con los intereses, o necesidades, o naturaleza
- ONGs: tienen papel de capacitación, implementación, financiamiento, etc.
- Gobiernos locales: políticas de difusión, incentivos, PIGARS⁴⁶ ...
- Empresas fabricantes: calidad del producto, cantidad, responsabilidad social
- Entidades financieras: créditos, etc.
- Instituciones académicas, universidades: investigación y desarrollo

La rentabilidad de proyectos se puede lograr de la siguiente manera:

- Venta de biol
- Uso en los cultivos (aumentación de la productividad, de la calidad)
- Necesidad de educar en el uso y comercialización
- Necesidad para las instituciones de promoción de identificar mercados
- Hasta la fecha no se ve posible comercializar el biogás, sino de usarlo en actividades productivas.

⁴⁶ Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos

2.2.2.2. Experiencias de modelos de gestión en el Perú y en Bolivia

En los proyectos visitados en el Perú y en Bolivia, y también en las experiencias descritas en otras partes del mundo, no se ha visto ningún modelo de gestión en lo cual el usuario no paga nada. Siempre financia el usuario una parte de la implementación, proporcionando materiales locales, mano de obra y comprando algunos materiales. El punto positivo en muchos países asiáticos es la existencia de programas nacionales de biogás, por los cuales el estado financia parte de la implementación.

En el ámbito del programa EnDev-Bolivia de la GIZ, el financiamiento se hace de la siguiente manera:

- El usuario debe financiar al menos 50% del costo, mediante mano de obra, suministro de materiales locales y compra de otros materiales. La GIZ se niega a participar en un proyecto en lo cual el usuario no paga al menos el 50% de los costos.
- La GIZ financia entre 20 y 30% del costo, mediante compra de materiales
- El socio, que puede ser otra institución o el municipio, financia el resto.

En el proyecto de la GIZ con su socio IRG-USAID visitado en la bahía de Cohana, el financiamiento de la instalación se hace de la siguiente manera:

- IRG-USAID: 25%
- GIZ: 25%. Pagó Bs. 400 de los Bs. 600 que cuesta el PE tubular color “negro humo”. Los Bs. 200 pagaron los usuarios directamente al proveedor.
- Usuario: 50%, en mano de obra, materiales locales y compra de material

En los proyectos de Soluciones Prácticas, el usuario no paga la geomembrana de PVC ni la tubería de gas, que son proporcionadas por la ONG, pero proporciona materiales como adobe, madera, etc., además de mano de obra. Un usuario mencionó un costo de S/.200 en materiales, más un día de trabajo de 8 a 10 personas con su comida.

En los proyectos de la GIZ en Bolivia y de Soluciones Prácticas en el Perú, el usuario se queda propietario de su instalación; pero las ONGs proporcionan asistencia técnica, sobre todo en los primeros meses de la instalación. Eso puede tener un costo importante, según la dispersión de las viviendas.

Después de la instalación del biodigestor, es importante que los técnicos regresen cada mes durante los 3 a 6 primeros meses, por una parte para sostener al usuario antes del fin del primer tiempo de retención y por otra parte para verificar que todo esté bien, que no haya fugas y que el usuario ha bien entendido el manejo. De hecho, durante el primer tiempo de retención, que puede durar hasta 2 o 3 meses en regiones frías, el usuario tiene que alimentar el biodigestor cada día pero sin aún recibir los beneficios de ello. (9)

2.2.3. Posibles barreras a la difusión en el Perú y América Latina

Aunque los biodigestores unifamiliares tubulares presenten características prometedoras y se implementaron algunos con bastante éxito, hubieron también muchos fracasos.

A continuación se detallan varios aspectos técnicos, programáticos, sociales, políticos, económicos y ambientales que constituyen barreras para la implementación de programas de

biodigestores; la mayoría de estos puntos son sacados de las conclusiones del encuentro internacional de la RedBioLAC del 2010. (56)

2.2.3.1. Barreras técnicas

En el material y el diseño:

- La demanda típica en horas de cocción es de 5 horas por día, lo que es difícil satisfacer en regiones frías como los Andes
- Deficiencia de estructuras, como establos, facilitando la recolección del estiércol
- Carencia de acceso al plástico tubular para fabricar el reactor
- Además los materiales locales baratos no tienen una duración suficiente, mientras que los materiales más durables cuestan demasiado para el campesino
- Falta poder garantizar la promoción y provisión de biogás (necesidad de experimentar y sacar conclusiones)
- Falta de diseños validados acorde con las características geográficas

En la investigación:

- Falta de conocimiento en general
- Falta de financiamiento y capacidades para la investigación
- Necesidad de estudiar más el biol y sus aplicaciones (tipos de cultivos, frecuencia de aplicación, momentos y modos de aplicación...)
- Se requiere más sistemas pilotos
- Faltan programas de investigación en el tema
- Falta difundir resultados de investigación y desarrollo
- Falta estandarizar y certificar

Especialistas técnicos:

- Falta mucho de personas siendo capaces de diseñar biodigestores
- Limitado número de especialistas en la instalación

2.2.3.2. Barreras programáticas

Instituciones:

- Todavía los gobiernos, y también las instituciones educativas, no consideran importante la introducción del biogás en la matriz energética de los países
- Falta de instituciones productivas en el desarrollo de proyectos de biodigestores (asociaciones de lecheros, cooperativas de café, etc.)
- Las instituciones necesitan apoyo en cuanto a su capacitación desde abajo hasta arriba
- Falta de continuidad con los gobiernos locales
- Falta de interés y de conocimientos de funcionarios estatales para promover tecnologías agropecuarias respetuosas del medio ambiente
- Poca institucionalización en las zonas rurales

Servicio y seguimiento

- Faltan empresas de servicio postventa

- Se necesitan instituciones para la operación y coordinación
- Falta de financiamiento para el seguimiento, que es en general costoso porque las viviendas están aisladas y dispersas

Difusión

- La difusión de la tecnología se encuentra todavía baja, lo que se sustenta sí mismo en un círculo vicioso (poca difusión, entonces poco conocimiento de la tecnología, por tanto no se difunde más). Por tanto es necesario dar un impulso a la difusión, mediante programas nacionales o utilización de la tecnología en sectores productivos más grandes, antes de que puedan llegar a los campesinos.

Certificación

- Falta certificar la tecnología

2.2.3.3. Barreras sociales

- Requiere motivación de parte de los potenciales usuarios
- Requiere que estén demostrados los resultados logrados mediante la utilización de biol y biogás, falta de confianza
- Conflictos sociales y bélicos
- Costumbres culturales: uso de leña para cocinar platos particulares, rechazo del uso de excretas para cocinar...

2.2.3.4. Barreras políticas

- Falta apoyo de los estados en términos de financiamiento y capacidad
- No existe en todos los países una ley que obligue a tratar los residuos orgánicos rurales, ni de aguas residuales (o a veces, existe pero no se cumple). Donde está respetada, el trabajo con grupos locales se ve muy efectivo.

2.2.3.5. Barreras económicas

Costo

- Costo de materiales bastante elevado
- Alto costo de capacitación y seguimiento, para las organizaciones implementadoras
- La inversión proporcionada por una familia no debería superar US\$ 200 para cinco años

Financiamiento

- Muy difícil para usuarios, como pequeños o medianos ganaderos, y también grandes, de financiar la instalación de biodigestores por su cuenta
- No existen mecanismos de crédito o microcrédito para esta tecnología.
- Requerimientos de financiamiento por las organizaciones que ya trabajan en el tema y que quieren profundizar, capacitar o diseminar.
- Falta de financiamiento para realizar un proceso de validación de los modelos, un proceso de monitoreo y seguimiento y de estudio de ubicaciones con potencial.

- Falta de partidas que financien la instalación de biodigestores pilotos en universidades, a fines de investigación
- Falta de recursos para realizar una certificación

Subsidios

- No hay criterios para definir los niveles de subvenciones, y faltan estudios sobre las formas de subsidios para favorecer la difusión
- Competencia de otros tipos de energía que reciben subvenciones (como el LGP a veces)

Mercado

- Carencia en el conocimiento del nivel de demanda en los países
- “mercado durmiendo”: usuarios potenciales no conocen el potencial de ingreso, entonces no hay demanda
- No hay estudio de mercado sobre la venta de biol
- Se deben demostrar los beneficios en todos contextos
- Los usuarios potenciales faltan mucho de conocimiento de la tecnología: la demanda potencial se reduce mucho cuando toman conciencia de los requisitos en términos de ganado, agua, carga de trabajo, costo...

Microempresas

- Casi no existen microempresas que venden, instalan y proporcionan servicio en biodigestores
- Falta incentivo o apoyo logístico para los instaladores y para el seguimiento
- No existen ramas de mercado desarrolladas para microempresas vendedoras de biol
- Las empresas de biodigestores que existen se enfocan en instalaciones grandes, al nivel industrial (son más rentables)

2.2.3.6. Barreras ambientales

Aguas residuales

- Falta de reglamentación, o de cumplimiento de la misma, para obligar a limitar la contaminación ambiental y a tratar residuos orgánicos

Requisitos ambientales para éxito

- Disponibilidad de agua (≥ 60 L por familia y por día). En algunos lugares, el recurso hídrico es muy variable a lo largo del año (existencia de sequías).
- Disponibilidad de ganado (para tener al menos 20 kg de estiércol fresco por día)
- Es mejor que la temperatura ambiental sea bastante alta ($>15^{\circ}\text{C}$), pero hay experiencias exitosas en regiones más frías.
- Escasez de leña puede ser un requisito, porque si hay una elevada disponibilidad de leña, la familia lo ve más fácil utilizar la leña que trabajar en el biodigestor para tener biogás.

2.3. Capacitación y sensibilización

2.3.1. Capacitación

2.3.1.1. Antes de la decisión de instalar un biodigestor

Según Jaime Martí Herrero de la GIZ Bolivia (9), uno de los factores de éxito en la difusión de biodigestores es que las familias se seleccionan ellas mismas. Para ello, deben conocer todas las informaciones disponibles, tan los beneficios que se los aportaría el biodigestor que las contrapartes.

Beneficios	Contrapartes
Bioabono para los cultivos	Carga de trabajo: manejo diario
Biogás que permitirá cocinar y otras aplicaciones si necesarias (iluminación, calefacción, generación de electricidad)	Antes de tener por la primera vez biol y biogás, hay que esperar hasta 2 o 3 meses que se inicie la producción, cargando cada día.
Menos o ningún humo en la cocina por reemplazamiento de todo o parte de la leña o bosta para cocinar	Mano de obra a proporcionar para la instalación
Mejor limpieza por la recoja del estiércol	Material local a aportar para la instalación
Más ahorros: no compra de gas si compraba antes, no compra de fertilizante químico si compraba antes	Compra de materiales para la instalación
Más ingresos: crecimiento más rápido de los cultivos, venta del excedente de biol	Instalación frágil: cuidar de los animales, de los niños, etc.
Mejoras sociales	Mantenimiento: válvula de seguridad, agua condensada en las tuberías, reservorio, cambio del filtro de hierro

Tabla 2.j: Beneficios y contrapartes del biodigestor para el usuario

En la experiencia de la GIZ en Bolivia, una vez que las familias interesadas conocen toda la información, se quedan menos de la mitad para ser candidatas a la instalación. Pero así se asegura una mejor probabilidad de éxito de la implementación en estos candidatos. (9)

Para dar a conocer la tecnología a instituciones y pueblos, se pueden elaborar documentos (trípticos) informativos, y dar charlas apoyadas por videos a petición de los interesados. (3)

2.3.1.2. Capacitación a la construcción, al uso y al mantenimiento

La capacitación a la construcción depende de los objetivos de la organización implementadora. Si uno de los objetivos es de democratizar la tecnología y de facilitar a largo plazo la implementación de biodigestores por las propias familias y los municipios sin recurrir a instituciones exteriores, como es la visión de la GIZ (cf. §2.1.2.8), es imprescindible involucrar totalmente los usuarios en la construcción de biodigestores.

Luego de eso, es naturalmente necesario capacitar los usuarios al manejo y al mantenimiento de un biodigestor tubular familiar.

La capacitación a la construcción, al uso y al mantenimiento puede realizarse a través de talleres prácticos. Por ejemplo, la GIZ organiza para usuarios talleres de tres días, si hay al menos 10 familias en la comunidad que van a instalar un biodigestor (si no es el caso, irán asistir a otro taller cercano). En estos talleres asistan las familias concernidas por la instalación de un biodigestor y también sus vecinos, que les ayudaron a instalarlo. Se capacita a todos los miembros de la familia.

En este taller de tres días hay un día de aprendizaje teórico y dos días de práctica: (18)

- Día 1: teoría sobre la digestión, la construcción, la carga de trabajo diaria, el uso de los productos, el mantenimiento...
- Día 2: en la mañana, visita a un biodigestor. En la tarde, instalación por los participantes del taller, bajo supervisión de técnicos, de dos biodigestores en dos familias de la comunidad.
- Día 3: examen práctico, instalación de ocho biodigestores en el restante de las familias.

Gas de los pantanos

El biogás está popularmente conocido como “gas de los pantanos”, porque en zonas pantanosas se descomponen residuos orgánicos, produciendo biogás que a veces se inflama, formando fuegos fatuos.

Para conocer los puntos importantes que se deben explicar en la capacitación, se puede referir a la parte 1 de este documento, sobre todo los párrafos 1.3 y 1.4. Entre los puntos mencionados, es importante insistir en:

- la demora en iniciar el funcionamiento estable del biodigestor: en regiones frías, el usuario tendrá que cargar el biodigestor cada día durante alrededor de dos meses, sin recibir ningún producto aprovechable del biodigestor; eso debido a que la metanización es un proceso lento. Eso puede ser un periodo difícil para el usuario, que tiene la impresión de trabajar por nada; por tanto en esta fase necesita seguimiento regular de la institución implementadora.
- la composición de la carga y el manejo diario
- los usos de los productos

2.3.2. Sensibilización

2.3.2.1. Impactos sobre la salud

Al recoger el estiércol diariamente, la utilización de un biodigestor mejora las condiciones de higiene de una chacra. Los alrededores se encuentran más limpios y más saludables, gracias a la reducción de patógenos, huevos de gusanos, moscas y malos olores (el biol no atrae las moscas y no tiene olor a estiércol). Reduciendo los focos de infección, se disminuye el riesgo de transmisión de enfermedades.

La cocina a biogás no genera humo, lo que es un punto muy positivo para la salud en el hogar, sobre todo de la mujer y de los niños. Las cocinas tradicionales a leña o bosta, aún ampliamente utilizadas, producen mucho humo, que irrita los ojos y provoca enfermedades respiratorias.

Una opción puede ser de tratar las aguas negras de los baños con un biodigestor, aún aumentando la higiene.

2.3.2.2. Impactos sobre el medio ambiente

El biodigestor capta y almacena metano y óxido nitroso – sino estarían liberados a la atmósfera –, dos GEI muy poderosos, teniendo respectivamente 20 y 300 veces mayor efecto invernadero que el dióxido de carbono CO₂. Además, el biodigestor capta ácido sulfhídrico y amoníaco, que son responsables de las lluvias ácidas.

Una vez quemado el biogás, lo único que se escapa al aire es CO₂, en cantidad igual a la que fue utilizada por los vegetales para producir biomasa vegetal, parte de ella siendo luego ingerida por animales. (49)

La utilización de biodigestores reduce la contaminación ambiental al convertir en productos útiles las excretas animales, que conllevan patógenos, larvas, huevos, etc. que pueden dañar las plantas cultivadas. Además aumenta la protección del suelo, de las fuentes de agua, de la pureza del aire y del bosque. De hecho, las excretas no recogidas y dejadas en el suelo se infiltran en éste, hasta contaminar las capas freáticas, o también pueden infectar los ríos cuando son traídas hasta ellos por las lluvias. El uso del combustible producido en vez de la leña, llegado el caso, permite limitar o disminuir la deforestación.

El biofertilizante producido evita recurrir a abonos químicos, cuya producción tan como utilización tienen efectos negativos en el medio ambiente. También es de mejor calidad nutricional que el estiércol fresco expandido directamente en los cultivos. Permite recuperar las plantas tras heladas.

2.3.2.3. Impactos sociales

Si el combustible utilizado antes era leña, las personas del hogar encargadas de recogerla – en general las mujeres y/o niños – ahorran tiempo diariamente en la recolección del combustible (hasta 2 o 3 horas como se constató en algunas experiencias asiáticas). Este tiempo lo pueden gozar para hacer actividades sociales en la comunidad, actividades productivas, estudiar u otros.

Al reemplazar una cocina tradicional a leña o bosta por una cocina a biogás, esta ya no genera humo, lo que incita a otros miembros de la familia que la mujer a ayudar en la cocina. Así se aumentan los intercambios sociales en el seno del hogar y se logra una mejor organización de la familia.

2.3.2.4. Impactos económicos

Se aumentan los ingresos mediante:

- La sustitución parcial o total de combustibles no renovables por biogás principalmente en la cocción, y a veces en la iluminación y calefacción: así se ahorra en compra de velas, querosén, gas o leña.

Según Don Felipe en Yanacancha Grande (Cajamarca), el abono foliar cuesta de S/.12 a S/.14 por litro, mientras que tiene que utilizar 2 L de biol en vez de 1 L de abono foliar para alcanzar la misma eficiencia. (13)

- La sustitución de los abonos químicos por el biol, fertilizante orgánico de alta calidad.
- La aumentación de la productividad: gracias al biol que les aporta nutrientes, los cultivos crecen más rápidamente y se pueden cosechar con más frecuencia, lo que genera más ingresos.

En el instituto agrario CEFOP, en Cajamarca, cortan la alfalfa cada 45 días en lugar de 60 días. (13)
- La venta del excedente de producción de biol.

Don Felipe usa 20 L de biol, de los 60 a 80 L que produce el biodigestor. (13)

Conclusión

Un biodigestor es una instalación, de tamaños de algunos metros cúbicos a millares de metros cúbicos, en la cual se desarrolla una digestión anaerobia, cual es un proceso biológico de degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Como productos de esta degradación se aprovechan biogás, una mezcla de varios gases incluyendo el metano, y un líquido llamado biol, que es un fertilizante orgánico muy bueno. Se pueden utilizar varios tipos de sustrato orgánico, lo más usado siendo estiércol de ganado (a menudo vacuno).

En este documento se dio enfoque en el diseño de biodigestores tubulares de plástico, que es hasta ahora el tipo de biodigestores el más difundido en el Perú y en América Latina, así que en la difusión de los mismos sistemas. De hecho, hoy en día, aunque existen varias experiencias exitosas con biodigestores en América Latina, pero en general de poco tamaño, no se difunde mucho la tecnología, por varias barreras que son entre otras la falta de especialistas y de investigación en el tema, el apoyo político débil, la falta de conocimiento ante la población, la falta de mecanismos de financiamiento o de crédito.

El bdg fue desarrollado en países tropicales, ya que la digestión anaerobia requiere una temperatura elevada; por tanto se podría creer difícil su implementación en la sierra países andinos como el Perú. Sin embargo, se desarrollaron modelos con invernadero, que aun más lentamente, también permitir realizar la metanización de estiércol de manera exitosa.

En cuanto a la difusión del conocimiento en la población, un punto clave parece la implementación de sistemas de demostración. Al ver sistemas en marcha se fomentan de boca en boca el conocimiento sobre el funcionamiento de los biodigestores, sus aportes y sus limitaciones. Además de eso se deben sensibilizar los potenciales usuarios a las ventajas en términos de ahorros de combustible, aumenta de la productividad de los cultivos, ventajas para el medio ambiente y la salud, así como sobre los requisitos a cumplir para obtener un biodigestor, ya que tiene un costo y que el manejo es diario, lo que puede rechazar a algunas personas. Se requiere motivación.

El biodigestor proporciona a un usuario, familia o pequeño productor agropecuario (los más adecuados siendo los pequeños productores lecheros, por la disponibilidad de ganado que tienen), un combustible que es el metano contenido en el biogás y que es utilizado a menudo para cocinar, a veces para iluminar o producir electricidad, un bioabono muy estimado por los usuarios (el biol), y mejora el ambiente de la vivienda o chacra, reduciendo las fuentes atrayendo a moscas, gusanos y favoreciendo la proliferación de patógenos, además de la sencilla limpieza de los alrededores. Reduce la contaminación ambiental al quemar el metano que se habría también generado en los residuos orgánicos dejados a fuera, al evitar que las excretas se infiltren en el suelo hacia las aguas subterráneas y proporciona un medio de manejo de los residuos orgánicos.

Bibliografía

1. **Eaton, Alexander Bennett.** *The role of small-scale biodigesters in the energy, health and climate change baseline in Mexico.* Arcata (California) : Humboldt State University, 2009.
2. **Ruiz Ríos, Albina.** *Mejora de las condiciones de vida de las familias porcicultoras del Parque Porcino de Ventanilla, mediante un sistema de biodigestión y manejo integral de residuos sólidos y líquidos, Lima, Perú.* Barcelona : Universitat Ramon Lull, 2010.
3. **Martí Herrero, Jaime.** *Biodigestores familiares: guía de diseño y manual de instalación.* La Paz : GIZ, 2008. ISBN: 978-99954-0-339-3.
4. **Botero, Raul and Preston, Thomas R.** *Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas - Manual para su instalación, operación y utilización.* 1987.
5. CD3WD. *Biogas - Digester types.* [Online] http://www.fastonline.org/CD3WD_40/BIOGSHTM/EN/APPLDEV/DESIGN/DIGESTYPES.HTML.
6. Turismo Rural en Costa Rica con el Grupo de Mujeres de Santa Fe. *Biodigestor: construcción y diseño.* [Online] 2007. <http://www.ruralcostarica.com/biodigestor-2.html>.
7. CERPCH. *Biodigestor.* [Online] abril 20, 2011. <http://www.cerpch.unifei.edu.br/biodigestor.php>.
8. *Taller de Intercambio de Experiencias de Biodigestores en América Latina - Resumen de conclusiones.* Cajamarca : CEDECAP, Green Empowerment, 2009.
9. **Martí Herrero, Jaime.** *Visita de proyectos GIZ en la bahía de Cohana.* La Paz, marzo 24, 2011.
10. **Dra. Garfí, Anna and Ing. Palacín, Montse.** *Experimentos en una planta piloto de biodigestores unifamiliares en Cajamarca. Estudio de los parámetros de diseño y operación.* Barcelona : Universidad Politécnica de Catalunya, 2009.
11. **Ing. Felipe Morales, Carmen.** *Visita de la bioagricultura Casa Blanca.* Pachacámac, Lima, enero 20, 2011.
12. Aguamarket. *Diccionario del agua.* [Online] <http://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=2082&termino=Solidos>.
13. **Ing. Cotrina, Robert.** *Visita de proyecto de biodigestores en Cajamarca.* Cajamarca, marzo 15-16, 2011.
14. **Martí Herrero, Jaime.** *Biogás Bolivia: Instalación de un biodigestor en altiplano.* [Online] YouTube, enero 12, 2008. <http://www.youtube.com/watch?gl=ES&hl=es&v=3SIOXEN5Bgo>.
15. —. *Taller Biogás.* [Online] <http://tallerbiogas.blogspot.com/>.
16. *Biodigestores tubulares unifamiliares.* **Ing. Cotrina, Robert.** Cajamarca : Soluciones Prácticas - CEDECAP, febrero 2011.
17. **Poggio, Davide.** *Manual de instalación de un biodigestor familiar tipo manga para zonas altoandinas - Guía para Yachachiq.* Cusco : IAA, UPC.
18. **Martí Herrero, Jaime.** *De la teoría a la práctica: biodigestores. II Seminario de investigación, desarrollo y gestión de proyectos de biodigestores.* La Paz : GTZ, 2011.
19. **EnDev Bolivia - Acceso a Energía.** *Tríptico: Biodigestores familiares.* La Paz, Bolivia : GIZ, 2011.
20. Poder calorífico. [Online] <http://www.google.com.pe/url?sa=t&source=web&cd=3&ved=0CDEQFJAC&url=http%3A%2F%2Fwww.elevate->

project.org%2Fbook%2Fcontent%2Fasimag%2FANALYSIS%2FENERGY%2Fcalorificvalues_es.pps&rct=j
&q=poder%20calorifico%20del%20diesel&ei=6C3xTcXcEJOy0AHT9_nDBA&usg=AFQjCNG.

21. **Lansing, Stephanie Anne.** *Performance and optimization of low-cost digesters for energy production and treatment of livestock wastewater.* Columbus (Ohio) : The Ohio State University, 2008.

22. **van Nes, Wim, et al.** *Building viable domestic biogas programmes: success factors in sector development.* s.l. : SNV, 2009.

23. **HEDON.** HEDON - Household Energy Network. [Online] setiembre 15, 2010.
http://www.hedon.info/Biogas_InternationalExperience?bl=y.

24. **Biogas for Better Life.** Biogas for Better Life, an African Initiative. [Online] 2007.
<http://www.biogasafrica.org/>.

25. **Henderson, J. Paul.** Anaerobic digestion in rural China. [Online] City Farmer, Canada's Office of Urban Agriculture, marzo 2, 2009. <http://www.cityfarmer.org/biogasPaul.html>.

26. **Kangmin, Li.** Institute of Science in Society. [Online] octubre 2, 2006. <http://www.i-sis.org.uk/BiogasChina.php>.

27. **Qichun, Hu.** *The promotion of rural domestic biogas plants in P. R. China.* Chengdu : Biogas Institute of Ministry of Agriculture (BIOMA), 2005.

28. **The Ashden Awards for sustainable energy.** *Domestic biogas for cooking and lighting.* London : The Ashden Awards for sustainable energy, 2006.

29. Biogas production. [Online] 2003. <http://www.habmigern2003.info/biogas/methane-digester.html>.

30. *Anaerobic digesters in India.* **Kishore, V.V.N. and Pant, D.C.** s.l. : TERI University, The Energy and Resources Institute, 2009.

31. **The Ashden Awards for sustainable energy.** *Biogas cooking stoves for villages on the fringes of the tiger reserve in Ranthambhore Park.* London : The Ashden Awards for sustainable energy, 2004.

32. —. *Compact digester for producing biogas from food waste.* London : The Ashden Awards for sustainable energy, 2006.

33. —. *Clean cooking and income generation from biogas plants in Karnataka.* London : The Ashden Awards for sustainable energy, 2007.

34. SKG Sangha. *Projects.* [Online] <http://www.skgsangha.org/projects.html>.

35. **The Ashden Awards for sustainable energy.** *Adding value to the residue from biogas plants.* London : The Ashden Awards for sustainable energy, 2006.

36. —. *Management of domestic and municipal waste at source produces biogas for cooking and electricity generation.* London : The Ashden Awards for sustainable energy, 2007.

37. —. *Domestic biogas for cooking and sanitation.* London : The Ashden Awards for sustainable energy, 2005.

38. —. *Case study summary: MARD and SNV, Vietnam.* London : The Ashden Awards for sustainable energy, 2010.

39. Biogas program for the animal husbandry sector in Vietnam. [Online] Biogas Project Division. <http://210.245.92.22/english/>.

40. **Buysman, Eric and van Mansvelt, Rogier.** *CDM Baseline study on fuel use and manure management at household level - National Biogas Programme Cambodia.* Phnom Penh : GERES Cambodia, 2006.
41. **Buysman, Eric, Bryan, Samuel and Pino, Mariela.** *Revised CDM baseline study on fuel use and manure management at household level.* Phnom Penh : GERES Cambodia, 2010.
42. **Buysman, Eric.** *Anaerobic Digestion for Developing Countries with Cold Climates - Utilizing solar heat to address technical challenges and facilitating dissemination through the use of carbon finance.* Wageningen : University of Wageningen, Faculty of Environmental Sciences, sub department Environmental Technology, 2009.
43. *The National Biogas Program in Cambodia in relation to the Clean Development Mechanism.* **Bunny, Heng and Besselink, Ivo.** s.l. : National Biogas Program, SNV, 2006.
44. AllAfrica. *Camartec wins Africa Biogas Award.* [Online] <http://allafrica.com/stories/201009150754.html>.
45. RedBioLAC. *Red de Biogestores para América Latina y el Caribe.* [Online] 2009. <http://redbiolac.org/>.
46. ERenovable, blog de energías renovables. *Utilizan estiércol de vaca para generar energía eléctrica en Guanajuato.* [Online] setiembre 2, 2008. <http://erenovable.com/2008/09/02/utilizan-estircol-de-vaca-para-generar-energa-elctrica-en-guanajuato/>.
47. **Lugones López, Bárbaro.** CubaSolar. *Análisis de biogestores.* [Online] <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia22/HTML/articulo04.htm>.
48. **Dipl. Ing. Moncayo, Gabriel.** *Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano - "El tratamiento de aguas residuales y desechos orgánicos en digestores biológicos anaeróbicos y producción de biogás".* Tegucigalpa : s.n., febrero 2003.
49. BBCMundo.com. *Biogás a bajo costo en Costa Rica.* [Online] marzo 13, 2009. http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/forums/newsid_7937000/7937917.stm.
50. **GIZ.** EnDev-Bolivia. [Online] <http://www.endev-bolivia.org>.
51. **Kossmann, Werner and Pönitz, Uta.** *Biogas Digest - Volume IV: Biogas - Country Reports.* s.l. : ISAT-GTZ, 1997.
52. Biogestor rural. [Online] noviembre 2002. <http://www.redetec.org.br/inventabrasil/biodigr.htm>.
53. *Desenvolvimento Sustentável: A Estratégia Para Os Pequenos Produtores Rurais.* s.l. : Revista Geográfica Brasileira.
54. **Ferrer, Ivett, et al.** *Producción de biogás a partir de residuos orgánicos en biogestores de bajo coste.* Barcelona : Grup de Recerca en Cooperació i Desenvolupament Humà, 2009.
55. **CIDELSA.** CIDELSA. *DELTABIOGÁS.* [Online] 2011. http://www.cidelsa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=58&Itemid=68&lang=es.
56. **Verastegui, Angel.** *Entrevista con A. Verastegui, GIZ.* Lima, febrero 23, 2011.
57. *Seminario Taller: Biogestor: Tecnología limpia para Mitigar el Cambio Climático.* **RedBioLAC.** Guácimo de Limón, Costa Rica : RedBioLAC, 2010.
58. **Infantes Chávez, Pablo.** Biogestores: tabla de valores - TS. [Online] enero 15, 2007. <http://www.engormix.com/MA-porcicultura/manejo/articulos/biogestores-tabla-valores-ts-t1237/p0.htm>.

Anexos

A. Características de diferentes sustratos

Sustrato	TS ⁴⁷ (% de kg de sustrato)	oTS ⁴⁸ (% de TS)	C/N ⁴⁹	m ³ de biogás por kg de oTS	L de biogás por kg de sustrato
Estiércol de vacuno	7-10	77-85	10-20	0.18-0.4	9.7-34.0
Estiércol de cerdo	5-7	77-78	8-15	0.3-0.52	11.6-28.4
Estiércol de gallina	18-32	75-83	7-10	0.33-0.65	44.6-172.6
Estiércol de ovino/cabra	25-35	72	12-25	0.16-0.42	28.8-105.8
Estiércol de caballo	28		18-25	0.2-0.35	
Hojas de remolacha	16	78.5	14-18	0.5-0.73	62.8-91.7
Planta de papas	25	79	17-25	0.55-0.7	108.6-138.3
Lodos de aguas servidas	65-80	10		0.31-0.65	20.2-52.0
Cáscaras de manzana	2-3	95	6-7	0.45-0.65	8.6-18.5
Cáscaras de papas	12-15	90	13-19	0.4-0.7	43.2-94.5
Cáscara de trigo	6-8	87-90	10-11	0.6-0.8	31.3-57.6
Restos de verdura	10-20	76	15	0.5-0.62	38.0-94.2
Restos de frutas	45	93	50	0.5-0.62	209.3-259.5
Restos de comida	9-18	90-95	15-20	0.6-0.81	48.6-138.5
Basuras orgánicas	60-75	30-70	40-80	0.29-0.8	52.2-420.0
Lodos flotantes	5-24	83-98		0.7-1.0	29.1-235.2
Contenido estomacal (cerdos)	12-15	80-84	17-21	0.3-0.45	28.8-56.7
Contenido ruminal (vacunos)	11-19	80-88	17-21	0.4-0.57	35.2-95.3
Sebos	35-70	96		0.8-1.1	268.8-739.2
Oleaginosas y tortas	88	93	50	0.5-0.76	409.2-622.0

Tabla A.a: Producción de biogás por kg de sustrato, para diversos sustratos. Relación C/N. (57)

Las horquillas de cifras están debidas a la alimentación del animal o al tipo de suelo en lo cual crece la planta, respectivamente.

⁴⁷ Alemán *Trockensubstanz*: substancia seca

⁴⁸ Alemán *organische Trockensubstanz*: substancia orgánica seca

⁴⁹ Relación carbono/nitrógeno