

# BIOGAS

## construcción y funcionamiento de biodigestores plásticos de flujo continuo





## Presentación

La presente publicación da cuenta de los resultados de la utilización -por parte de productores familiares, en su mayoría queseros artesanales- de una tecnología de bajo costo: *los biodigestores*, para la producción de una energía renovable: *el biogás*.

Sandra Bazzani  
Coordinadora Nacional  
Programa de Pequeñas  
Donaciones  
PPD/FMAM/PNUD

En ella se describe el proceso de instalación de los biodigestores, así como las diferentes adaptaciones realizadas para su mejor uso y aprovechamiento, producto del trabajo y la creatividad de los productores que los implementaron junto a la técnica que los orientó.

Se recogen aquí las lecciones aprendidas a lo largo de una serie de experiencias. En la primera de ellas, realizada en un pequeño establecimiento lechero de la zona de Castillos (Rocha), se adaptó -para las condiciones climáticas de nuestro país- la tecnología original utilizada en Centroamérica.

Posteriormente, y a partir de tres proyectos<sup>1</sup> apoyados y financiados por el Programa de Pequeñas Donaciones (FMAM/PNUD), se fue aplicando y mejorando la tecnología en cada caso, se realizaron intercambios entre productores y técnicos y se difundió a otras instituciones y actores interesados en la temática.

Esperamos que esta publicación sea de utilidad para los productores y sus familias, para técnicos e instituciones.

Agradecemos a todos quienes contribuyeron, de un modo u otro, a su realización, así como también al Proyecto Colonia Integra, que la financia, colaborando así con la difusión de estas experiencias.

---

1 “Producción de energía renovable (biogás) en establecimientos lecheros y utilización de subproductos generados por el biodigestor”, ejecutado por IES. 2006-2008  
“Producción de biogás y biofertilizantes en tambos”, ejecutado por la Sociedad de Productores de Leche de San Ramón. 2008-2011  
“Tratamiento de efluentes y utilización de energías alternativas en un pequeño tambo y quesería orgánicos”, ejecutado por el Centro Emmanuel. 2008-2011.

## Introducción

Las actividades humanas liberan gases de efecto invernadero a la atmósfera. La agricultura y la ganadería son algunas de las más importantes, debido a la liberación de gas metano, que es uno de los gases de efecto invernadero responsables del *calentamiento global y del cambio climático*. De las emisiones de gas metano generado por la actividad humana, el 30% proviene de la cría de ganado (vacuno, ovino, lanar, suino).

La mayor parte del metano liberado por la cría de animales es producido por la “fermentación entérica” de los alimentos por parte de las bacterias y otros microorganismos en sus tractos digestivos. La emisión de gas metano debido a la descomposición anaeróbica del estiércol animal también contribuye en este sentido, aunque en una menor proporción.

Por otra parte, el uso de fertilizantes químicos aumenta las emisiones de otro de los gases que provoca el efecto invernadero: el óxido nitroso. El nitrógeno que contienen muchos abonos y fertilizantes minerales aumenta los procesos naturales de nitrificación y desnitrificación que producen las bacterias y otros microbios en el suelo. Estos procesos convierten parte del nitrógeno en óxido nitroso. La cantidad de este gas emitido en cada unidad de nitrógeno aplicado al suelo depende del tipo y cantidad de fertilizante, las condiciones del suelo y el clima.

La tecnología aquí presentada no solamente permite el *desarrollo de una energía renovable* (el biogás) sino que también contribuye a *mitigar el cambio climático* al reducir las emisiones de metano de la descomposición anaeróbica del estiércol y al sustituir el uso de fertilizantes nitrogenados.

Su uso a nivel de pequeños establecimientos lecheros disminuye la contaminación producida por la acumulación de estiércol en torno a las salas de ordeño, y evita las emanaciones de gas metano que se producen en estas “pilas” de estiércol.

Esta tecnología posee algunas ventajas importantes: es fácilmente replicable y de bajo costo de instala-

ción, de fácil incorporación a nivel de pequeños productores y la utilización del subproducto obtenido de la biodigestión (biofertilizante líquido) que es de gran valor fertilizante para uso en cultivos y pasturas.

Adicionalmente, su incorporación y uso, está en línea con las políticas públicas que Uruguay está llevando adelante en materia energética.

En este sentido, al igual que otros países de la región, Uruguay ha pasado por años de crisis energética. Esto ha repercutido directamente en la economía de los pequeños y medianos productores debido a los altos costos de los combustibles provenientes del petróleo. En respuesta a ello, se está cambiando la matriz energética nacional, y se apuesta a generar la mitad de su energía con fuentes renovables en 2015.

Para poder explotar los recursos energéticos propios y renovables (agua, viento, sol y biomasa), es necesaria la participación ciudadana donde cada individuo tome conciencia de la importancia de generar fuentes de energía cada vez más independientes de los derivados del petróleo.

La utilización de la tecnología aquí presentada, es un ejemplo de dicha participación, en que se incorpora a la matriz energética la energía proveniente del biogás.

## Experiencias con biodigestores plásticos de flujo continuo desarrolladas en Uruguay

Durante 2006, con apoyo de la CND- Corporación Nacional para el Desarrollo, se llevó adelante una experiencia piloto de producción de biogás en un establecimiento lechero de la zona de Castillos (Rocha), dedicado a la producción de quesos artesanales. El objetivo fue validar una alternativa de producción de energía de bajo costo y su facilidad de incorporación

a nivel de pequeños productores.

Se instaló un biodigestor de polietileno de flujo continuo y se evaluó su funcionamiento durante un período de seis meses (verano y otoño).

La tecnología original utilizada en países de Centroamérica fue adaptada a las condiciones climáticas de Uruguay para mejorar su eficiencia.

El biogás se comenzó a generar a los 35 días luego de instalado el biodigestor, y fue utilizado en el predio para el lavado de instalaciones y máquina de ordeño, cocción de cuajada para la elaboración de quesos, etc.

Se evaluó también la producción de gas en el otoño e invierno, resultando suficiente para cubrir las necesidades del establecimiento. Por su parte, el requerimiento de mano de obra necesaria para alimentar el biodigestor a diario, no superó los 45 minutos por día.



Biodigestor en funcionamiento.  
 Predio de Sebastián y Mirto López, Castillos  
 (mayo de 2006).





Utilización de biogás en la elaboración de quesos artesanales.  
Predio de Sebastián y Mirto López (Castillos).

Por otra parte se evaluó la disminución en la cantidad de estiércol acumulado en el entorno del tambo, con la consiguiente disminución en los malos olores y en la presencia de insectos, con respecto a la situación inicial y mejorando por ende la calidad de la leche y de los quesos producidos.

También se evaluó la sustitución de otras fuentes de energía utilizadas en el establecimiento como el gas butano, la leña y la energía eléctrica por biogás, sustituyéndose hasta en un 100% las dos primeras y en un 50% la tercera.

Posteriormente, el Instituto de Estudios Sociales, con el apoyo y financiación del Programa de Pequeñas Donaciones del Fondo para el Medio Ambiente Mundial que se implementa a través del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, llevó adelante un proyecto denominado *“Producción de energía renovable (biogás) en establecimientos lecheros y utilización de subproductos generados por el biodigestor”*.

Dicho proyecto fue llevado adelante durante 18 meses, en 8 predios demostrativos en los departamentos de San José y Rocha, con el objetivo de contribuir a mejorar las condiciones ambientales. Esta tecnología se validó en el departamento de Rocha como alternativa de producción de energía en forma de biogás, y su incorporación en predios lecheros. Y la experiencia se replicó en predios queseros de la cuenca lechera del departamento de San José.

### Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- Participación de 50 productores lecheros y queseros y 30 alumnos de Escuelas Agrarias capacitados en el manejo de la tecnología.
- Funcionamiento de biodigestores en invierno mediante la incorporación de estructuras de protección (macrotúnel).
- Reducción y sustitución por biogás en un 50 % de los gastos de energía en base a gas butano y/o leña de los predios involucrados.
- Adaptación de un motor naftero a biogás, y prueba de funcionamiento de una máquina de ordeño en uno de los tambos.
- Uso y evaluación de los subproductos generados por los biodigestores (biofertilizante líquido) en el comportamiento agronómico de cultivos y praderas en uno de los predios demostrativos. Los indicadores demostraron una mejora en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos a los que se les aplicó este biofertilizante.
- Adquisición de estercolera, herramienta indispensable para esta tarea, que es gestionada de forma colectiva, mediante un reglamento en cuya elaboración participaron los propios productores.
- Compresión y envasado del biogás en forma artesanal y demostrativa en el ámbito predial.

### Utilización de biodigestores

La digestión anaeróbica, biodigestión o metanación es el uso de procesos biológicos en un medio anaeróbico (sin oxígeno) para romper cadenas de moléculas complejas en sustancias más simples.

Esta forma de digestión es la más sencilla y segura para dar tratamiento a excrementos humanos y animales en zonas rurales.

Como resultado de la investigación en la tecnología del biogás se han desarrollado diferentes diseños de plantas, ejemplo de ello son el modelo de la India y el modelo chino. Estos han tenido problemas por la aparición de grietas en el cemento con que se los construye, especialmente en períodos donde las temperaturas son muy altas.



El Dr. Preston en Centroamérica, con el fin de resolver estas limitantes, desarrolló un sistema de biodigestor utilizando polietileno en vez de cemento. Una de las principales ventajas de un biodigestor de polietileno (BDP) comparado con otros modelos, es el bajo costo de instalación y mantenimiento. Además, los materiales utilizados se encuentran sin dificultad en el mercado.

El biodigestor es de flujo continuo, porque el volumen de caldo que ingresa en la bolsa que actúa de cámara de digestión, desplaza la misma cantidad de efluente (biofertilizante) por la salida. Y además porque la carga es rutinaria (diaria).

## Biodigestores plásticos de flujo continuo

El biodigestor es un aparato formado por una bolsa doble de plástico donde se introduce y se fermenta estiércol de diferentes animales.

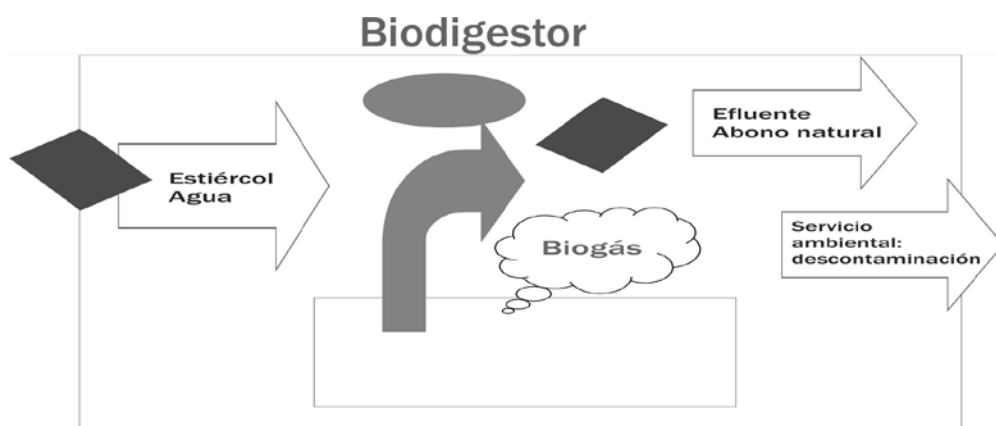


Figura 1

## Composición del biogás

El biogás está formado por una mezcla de gases, y su composición (cuadro 1), depende del tipo de residuo orgánico utilizado para su producción y de las condiciones en que éste se procesa.

Cuadro 1:

Componentes	Fórmula Química	Porcentajes
Metano	CH <sub>4</sub>	60-70
Gas Carbónico	CO <sub>2</sub>	30-40
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	1
Nitrógeno	N	0,5
Monóxido de Carbono	CO	0,1
Oxígeno	O <sub>2</sub>	0,1
Ácido Sulfhídrico	H <sub>2</sub> S	0,1

Fuente: adaptado del Instituto de Investigaciones Eléctricas de México, 1980.

## Materiales necesarios para la construcción de un biodigestor de flujo continuo

### Tuberías y accesorios

### Dimensiones

- 1 platina de tanque de 1”(una pulgada)
- Profundidad: 1 metro
- 1 cupla de 1” Ancho: 1 metro
- 2 entre roscas con tuerca de 1”
- 2 codos de 1”
- 3 reboses de 1” para plastiducto
- 1 tee de 1”
- 1 rebose de 1” para plastiducto
- 1 reducción de ½” a 1”
- 1 rollo de cinta pato
- 1 sella rosca grande
- 15 metros de plastiducto de 1”
- 2 caños de hormigón de 0,30 metros de diámetro por 1 metro de alto
- 1 llave de paso de metal de ½ (guillotina).

### Polietileno

34 metros de SILOFILM por 5,75 metros de circunferencia/ 240 micrones (tubular).

Recomendación: adquirir el material en fábrica, y asegurarse de que sea de primera calidad.

## Otros materiales complementarios

Nylon de silo de descarte, paja seca de cereales, costaneros, espuma plast de 4 cm., etc., para aislar la fosa.

Gomas de cámara de auto o camión y 2 arandelas de plástico duro o aluminio de 20 cm. de diámetro para realizar juntas.

1 recipiente de plástico de 3-5 litros para colocar la válvula de seguridad.

6 recipientes de plástico de 3 litros de capacidad para armar el revolvedor de materia orgánica.

## Instalación del biodigestor

### a) Localización de la fosa

Se excava una fosa sobre suelo firme y en forma tal que sus paredes de tierra no se derrumben y no queden piedras cortantes ni raíces salientes, y se coloca aislante térmico y/o protección para los materiales constituyentes del biodigestor.

La fosa debe situarse cerca de las instalaciones destinadas al uso de biogás, como salas de ordeño o de procesamiento de la leche, o locales donde se alojarán animales (cerdos, aves, etc.).

Es conveniente también que el efluente generado se pueda conducir a un depósito o fosa excavada en el suelo, próxima al biodigestor.

### b) Dimensiones de la fosa

Para determinar las dimensiones es necesario tener en cuenta la cantidad de estiércol que se puede generar y las necesidades de energía diarias del predio.

Las dimensiones de la fosa consideradas en los casos demostrativos que se llevaron a cabo son de 1,20 metros de ancho por 1,20 metros de profundidad y 13 de longitud. En ambos extremos de la fosa deben excavarse, localizados en el centro de cada pared, huecos oblicuos hasta el fondo de la fosa

donde se colocarán los caños de hormigón o baldes de plástico de 20 litros que conformarán las “bocas” del biodigestor.

**c) Construcción de la fosa**

Para la construcción de la fosa se utiliza una máquina retroexcavadora. Conviene realizar el trabajo desde la posición lateral. Luego es necesario corregirla a pala (figura 2) para nivelar el fondo y eliminar bordes no deseados que es imposible pulir con la retroexcavadora.

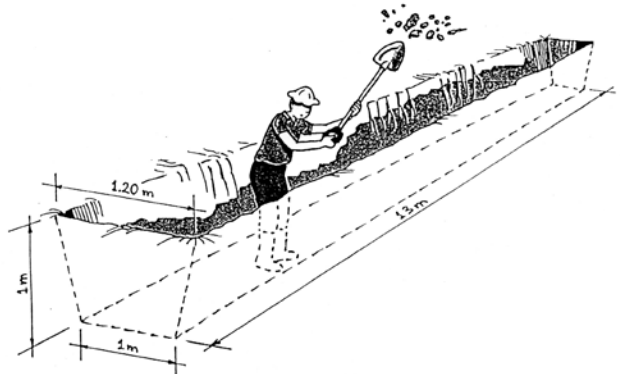


Figura 2



Fosa para biodigestor  
Escuela Agraria de Libertad.

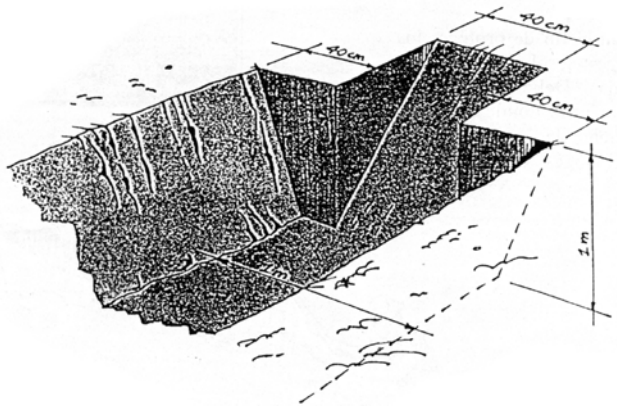


Figura 3

**NOTA:** es importante tener en cuenta que el mismo día de realizada la fosa con la retroexcavadora se debe armar y dejar instalado el biodigestor, para evitar desmoronamientos por condiciones ambientales adversas.

Para proteger el polietileno de la bolsa y aislarla del suelo, ésta puede forrarse con costaneros de madera, y luego bolsas de nylon, paja, cereales o pasto seco. Estos materiales actúan de aislantes de la bolsa ante las bajas temperaturas del suelo y también la protegen para que no se pinche si queda alguna piedra en el suelo de la fosa.



Construcción de biodigestor en el predio del Sr. Barboza, Treinta y Tres.



Construcción de biodigestor en predio de Fredy Chury, San Ramón, Canelones.

En otros casos de suelos muy livianos (arenosos), que tienen riesgo de desmoronamiento, la fosa puede construirse de mampostería (ladrillo, bloque), y revocarse para evitar que las asperezas del material rompan el nylon.



Instalación de biodigestor en predio de Guzmán González, Castillos, Rocha.

La tierra que se saca de la fosa se pone a los lados y se deja un camino para poder revisar el biodigestor.



Figura 4.

#### d) Preparación de la bolsa

El polietileno tubular de 34 metros se extiende sobre un piso seco, firme y sin piedras u objetos cortantes y se dobla longitudinalmente a la mitad para cortarlo, convirtiéndolo en dos tubulares de 17 metros de longitud cada uno.



A continuación, uno de los tubulares se introduce dentro de otro (el color negro debe quedar hacia fuera).

Es importante eliminar arrugas que vayan quedando en ambas piezas del polietileno y evitar todo tipo de torsiones en los tubulares.



Preparación de la bolsa. Predio de Guzmán González y Miguel Lechini



Preparación de la bolsa. Predios Sr. Barboza y Fredy Chury

### e) Colocación de la válvula de salida de biogás

Sobre la parte superior de la bolsa, a cuatro metros de cualquiera de los extremos y en el centro de ésta, se coloca la válvula de salida de gas.

Para colocar la válvula de salida es necesario reforzar el polietileno en esa área con una goma de cámara de neumático.

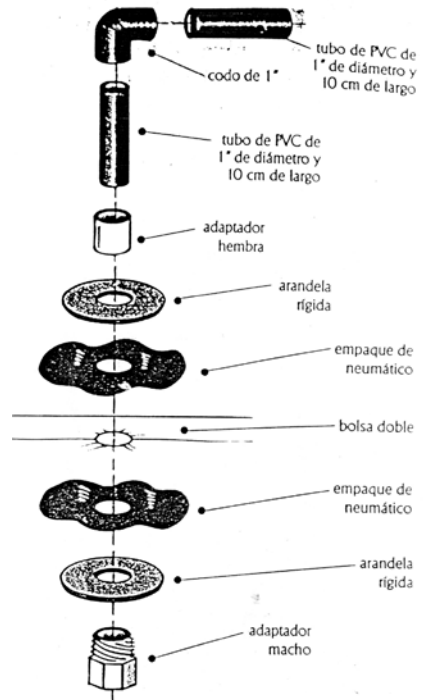
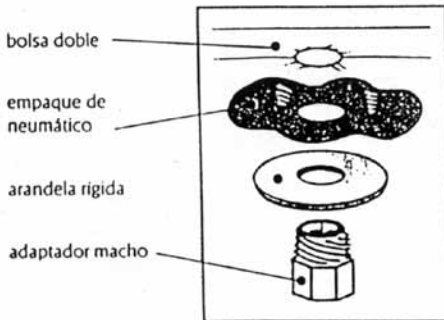
Se debe elegir un lugar próximo a donde se utilizará el gas.

En el lugar elegido se realiza un corte de 1", se coloca la platina de tanque por dentro de la bolsa doble y se rodea con un trozo de cámara de neumático.

La platina se une al resto de los accesorios por un rebose para plastiducto o cupla de PVC.



Figura 5: Colocación válvula de salida de biogás.  
Predio de Miguel Lechini



Detalle del armado de la válvula de salida de biogás.

Una vez instalada la válvula se coloca la bolsa dentro de la fosa.

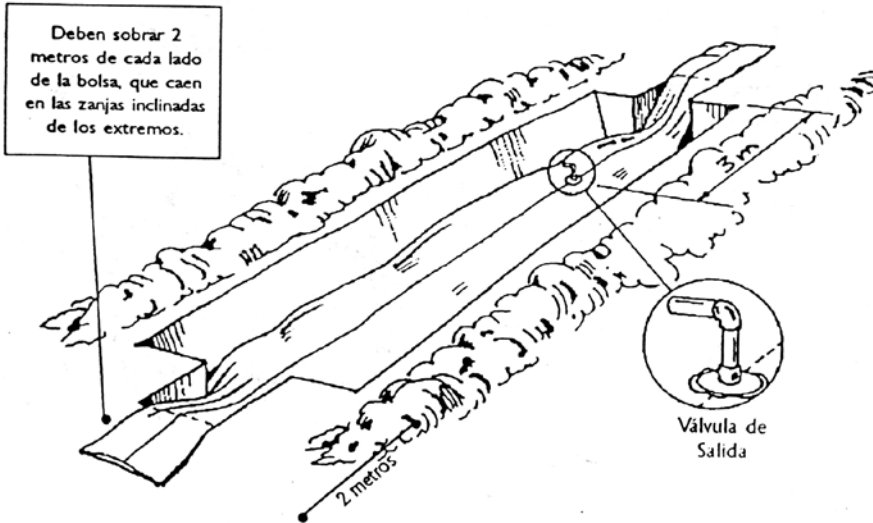


Figura 6

#### f) Instalación de las bocas del biodigestor

Se cierra un extremo de la bolsa y se pasa a través de los baldes unidos en forma de tubo (o si es el caso a través de tubos de cemento). Después del último balde debe sobrar un mínimo de 50 a 70 cm. de plástico, que se amarra con una correa larga de neumático.

Luego se hace lo mismo en el otro extremo de la bolsa, pero no se amarra al final.



Armado de las bocas del biodigestor. Predios de Miguel Lecchini y Sr Barboza

## Ubicación de las bocas del biodigestor



Utilización del nivel de agua.  
Instalación de biodigestor en predio del Sr. Barboza,  
Treinta y Tres.



Utilización de escuadra a 45°. Instalación de biodigestor en la  
Escuela Agraria de Rocha.



### h) Colocación de removedor interno de materia orgánica

Dentro del biodigestor, sobre la superficie de la fase líquida, tiende a formarse una “nata” flotante constituida por material fibroso no digerido por las bacterias.

Esta nata puede deshacerse haciendo presión desde el exterior del biodigestor sobre la bolsa, a lo largo de toda ella.

También se puede colocar un revolvedor construido en forma casera con botellas de plástico de 3 litros, llenas de agua o arena, ubicadas cada 50 cm., y amarradas a una piola que atraviesa todo el biodigestor y que sale por cada una de las bocas, para moverlas de un lado al otro y poder batir la mezcla de estiércol y agua. Las botellas se muestran en la figura 4 en azul, y la piola que atraviesa el biodigestor, está pintada de rojo.

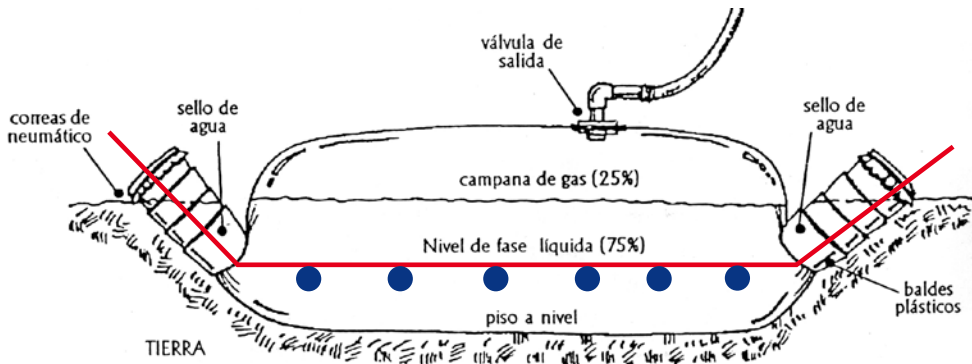


Figura 7.

### g) Llenado de la bolsa con humo o aire

Manteniendo el nylon extendido y próximo al lugar donde se ubicará el biodigestor, se atan cada uno de los extremos de la bolsa con un trozo de goma de cámara de auto, permitiendo el pasaje de una manguera flexible de plástico, que llevará el humo o aire al interior de la bolsa para inflarla. Esta tarea es esencial para evitar que la bolsa se torne al ubicarla dentro de la fosa y llenarla con agua, lo que quita espacio para almacenamiento del gas y deteriora el material del biodigestor.

La bolsa puede ser inflada con el humo de combustión del motor de un tractor, teniendo la precaución de que el humo caliente no derrita los materiales plásticos o de nylon.



Inflado de biodigestor con escape de tractor. Predio del Sr. Guzmán González. Castillos. Rocha

También puede ser inflada con la bomba de vacío de una estercolera.



Inflado de biodigestor. Predio del Sr. Justo Bonilla. San Ramón. Canelones

### h) Llenado de la bolsa con agua

Tras ubicar la bolsa dentro de la fosa y nivelar las bocas del biodigestor (las dos a la misma altura), se llena con agua, hasta el nivel de las bocas donde se formará el sello de agua que impedirá que se escape el gas.

De acuerdo con la ubicación de las bocas, la bolsa se llenará con agua hasta el 75% de su capacidad total.





Llenado de la bolsa con agua. Predio del Sr. Barboza, Treinta y Tres.

### **i) Colocación y funcionamiento de la válvula de seguridad**

La válvula de seguridad se compone de un frasco plástico transparente de 3 litros de capacidad, sobre cuya boca destapada se coloca una “T” en PVC de 1”.

En el extremo de la “T”, dirigido hacia adentro del frasco, se introduce un caño de 1” de PVC hasta llegar a penetrar en el agua contenida en su interior.

El nivel de agua debe mantenerse hasta la mitad, lo que se logra realizando huecos alineados en todo el contorno y a la altura de la mitad de las paredes del frasco.

Ante un llenado excesivo de la bolsa con biogás, éste ingresa a través de la “T”, vence la tensión de la delgada lámina de agua y se expulsa en forma de burbujas, y posteriormente sale como gas por una ventana previamente abierta o por la boca, en la parte alta del frasco. Esta ventana es usada para el llenado de la válvula con agua, cuando baja su nivel. Se impide así que se rompa la bolsa de biogás por exceso o por un bajo consumo ocasional y se permite el almacenamiento de todo el biogás producido, hasta alcanzar la capacidad total del depósito (25% del volumen total del biodigestor).

Los dos extremos superiores de la “T” son los de entrada y salida de biogás proveniente del biodigestor hacia la válvula de seguridad y de ésta hacia el quemador.

A un lado de la fosa se coloca un poste a 1,5 metros de altura donde se amarra la válvula de seguridad, que debe mantenerse inmóvil para que no se escape el biogás.



Detalle de válvula de seguridad. Predios de María Angélica Pérez. Rincón de Conde Canelones y Mirto López. Castillos. Rocha.

---

NOTA: Para la conservación de los aparatos operados con biogás se debe extraer el ácido sulfídrico que se genera en el proceso de biodigestión, a fin de evitar corrosión de metales, contaminación y malos olores durante la combustión del biogás. Dentro de la “T” que está ubicada debajo de la válvula de seguridad, se debe colocar esponjilla metálica de bronce o aluminio, que permita filtrar y descontaminar el biogás que va hacia el quemador. Esta esponjilla reacciona con el ácido sulfhídrico, altamente tóxico, contenido en el biogás, convirtiéndolo en otro compuesto inofensivo.

---

Luego de cumplir los pasos de la a a la i, el biodigestor puede verse así:

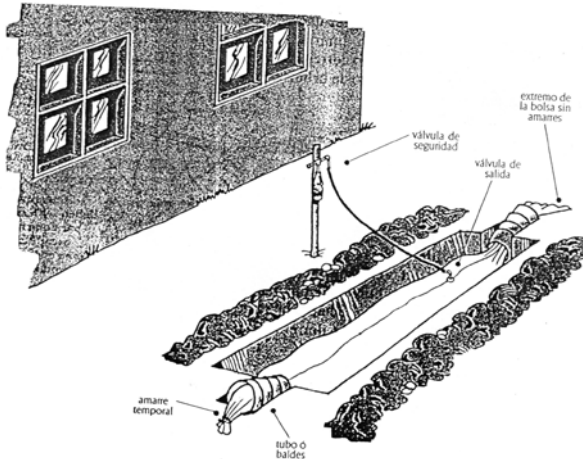


Figura 8

### j) Carga diaria del biodigestor

Para la carga diaria de la mezcla de estiércol y agua al biodigestor, se debe disponer de un recipiente que se ubique próximo a éste donde se realice la mezcla.

Puede ser una tarrina de plástico sin comunicación con el biodigestor, o puede ser un recipiente de metal (tanque) con comunicación directa a éste.

Otra opción es construir a la entrada del biodigestor una cámara donde se pueda realizar la mezcla, como muestran las siguientes fotografías.



Recipiente para mezclar agua y estiércol. Predio de Víctor Azza-nelli. San Ramón. Canelones



Cámara para realizar la mezcla de estiércol y agua. Predio de Guzmán González. Castillos. Rocha

Es conveniente colocar tapas en las bocas del biodigestor, sobre todo en momentos donde haya probabilidad de lluvias, a fin de que no ingrese agua en exceso.

**k) Almacenamiento del biogás excedente en bolsas reservorio.**

Para poder almacenar el biogás que se genera en épocas de primavera-verano, se recomienda contar con un bolsón construido con el mismo nylon que el biodigestor, pero colocando la bolsa sencilla y no doble como en el caso del biodigestor porque el gas no tiene presión.

Uno de los lados del bolsón se cierra con una goma de cámara de auto o bicicleta, y al otro extremo se le coloca una "T" de PVC y se cierra con la misma goma.

La bolsa se coloca en un lugar conveniente para el uso a nivel doméstico, como una baranda o galpón contiguo a la cocina o lugar de utilización.



Bolsa colgada del techo para almacenamiento de biogás.

Para aumentar la presión del gas se coloca una cuerda alrededor de la bolsa que se va ajustando a medida que disminuye la presión de dicha bolsa.

### I) Compresión y envasado del biogás a nivel predial

Se han realizado pruebas de compresión y envasado del biogás en forma artesanal y demostrativa a nivel predial, que deben mejorarse, ya que es pequeño el volumen de gas que se ha podido envasar. La razón es que requiere de otros procesos que no es posible realizar a nivel artesanal.

En las siguientes fotografías se muestra un compresor construido en forma artesanal que es utilizado para comprimir el gas e introducirlo a alta presión en garrafas.



Compresión y envasado de biogás.

### Envasado del biogás en cámaras de cubiertas de tractor

Otra experiencia generada en Uruguay es la del envasado a nivel predial del biogás usando las cámaras viejas de cubiertas de tractor, donde el biogás es introducido en la cámara con la ayuda de un compresor de heladera.

Este recipiente tiene una capacidad de almacena-





Envasado de biogás en cámaras viejas de cubiertas de tractor. Predio de Víctor Azanelli. Rincón de Conde. Canelones.

miento de 3 horas de uso de gas continuo a 20 libras de presión.

## Funcionamiento del biodigestor

### 1) Valores de pH en la fase líquida

El rango de pH en la fermentación anaeróbica puede variar entre 6,7 y 7,5, un medio prácticamente neutro.

Si el biodigestor está funcionando de forma correcta el pH se mantiene dentro de este rango. Si se acidifica el medio, la acción de las bacterias metanogénicas se inhibe, aumentando la proporción de gas carbónico en el biogás. Las causas por las que se puede acidificar la fase líquida contenida dentro del biodigestor son:

- Un cambio excesivo en la cantidad de estiércol aportada.
- El permanecer por largo tiempo sin recibir carga.
- La presencia de productos tóxicos en la carga.
- Un cambio amplio y repentino en la temperatura interna.

En algunos casos la acidez puede corregirse agregándole agua con cal a la fase líquida.

### 2) Relación Carbono: Nitrógeno en el estiércol

Los carbohidratos y las proteínas son los nutrientes indispensables para el crecimiento, desarrollo, y actividad de las bacterias anaeróbicas.

El carbono contenido en el estiércol es el elemento que las bacterias convierten en metano (CH<sub>4</sub>). El nitrógeno es utilizado para la multiplicación bacteriana y como catalizador en el proceso de producción de biogás. Si su nivel es alto, el proceso se retarda por el exceso de amoníaco y la alcalinización de la fase líquida y puede llegar a detenerse.

El contenido de carbono en el estiércol de vaca es excesivo, como lo es también el contenido de nitrógeno en el estiércol de cerdo. De allí la posibilidad y ventaja de alimentar el biodigestor con excretas de



diferentes animales, para balancear el contenido de nutrientes e incrementar así la eficiencia en el proceso de producción de biogás.

A continuación se presenta un cuadro que contiene información sobre la relación carbono/ nitrógeno de diferentes tipos de excretas animales y restos de cosecha:

SUSTRATO	RELACION C:N
Orina	0,8
Heces vacunas	10-20
Heces de cerdo	9-13
Heces de ave	5-8
Heces ovinas/ caprinas	30
Paja de cereales	80-140
Paja de maíz	30-65
Hortalizas	35

### 3) Rangos de temperatura de operación del biodigestor

La tasa de fermentación de los sólidos orgánicos y su conversión parcial en biogás, están directamente relacionadas con la temperatura interna de operación. Aunque el proceso se lleva a cabo en un amplio rango de temperaturas desde 15° a 60°, la mayor eficiencia de conversión se obtiene en los rangos de temperatura mesofílico (30 ° a 40°) y termofílico (55° a 60°).

### 4) Suministro de estiércol al biodigestor

El biodigestor debe alimentarse en forma diaria con 20 kg de estiércol fresco, y 100 litros de agua.

### 5) Proporción entre estiércol y agua

Las excretas sólidas contienen en promedio un 15 % de materia seca, pero deben ingresar al biodigestor como una suspensión de agua con aproximadamente un 3 % de materia seca. Esto implica que es necesario realizar una mezcla de cinco partes de agua por una parte de estiércol fresco.

Si esta proporción no se cumple se produce un desequilibrio dentro del biodigestor provocado por cambios de pH de la mezcla.

### 6) Tiempo de retención y cantidad diaria de estiércol

El tiempo requerido para la digestión anaeróbica más eficiente de la materia orgánica retenida en el biodigestor es de 30 a 50 días. Por lo tanto, la cantidad diaria de excretas para alimentar el biodigestor se calcula dividiendo el volumen de su fase líquida (75 % de su capacidad total) entre los 30-50 días de retención.

Para estas medidas de biodigestores -13 metros de largo por 5 metros de diámetro- 20 kilos de estiércol fresco y 100 litros de agua diarios son suficientes.

### 7) Número de animales necesarios para la alimentación del biodigestor

La cantidad y composición del estiércol producido por las diferentes especies animales varían con el peso animal y con la cantidad y calidad del alimento consumido.

A continuación se presenta un cuadro con la producción diaria de estiércol de diferentes animales:

Especie Animal	Estiércol Producido (kg/ día) en base húmeda y por 100 kg de peso vivo
Vacunos de carne	6
Vacunos de leche	8
Equinos	7
Ovejas o cabras	4
Cerdos	4
Conejos	3

En términos generales, para alimentar diariamente un biodigestor de 13 metros de largo por 5 metros de diámetro, el predio debe disponer de 20 kg de estiércol fresco.

## Utilización de biogás para generar energía en predios lecheros y queseros

### Instalación de tuberías para el desplazamiento del biogás hacia el lugar de utilización

El biogás se desplaza fuera de la campana del biodigestor únicamente por efecto de la presión atmosférica, por lo que se requiere un diámetro de tubería de al menos 1 pulgada hasta la entrada (quemador).

Si la distancia entre el lugar de producción y el de utilización del biogás supera los 100 metros, el diámetro de la tubería debería ser de 1 pulgada y  $\frac{1}{4}$  o mayor.

### Instalación de biodigestores en serie

Para tambos grandes se recomienda construir biodigestores en serie como se muestra en la fotografía.



Biodigestores en serie.

### Adaptación de motor estático a nafta para producir energía eléctrica en base a biogás.

Para implementar la adaptación del motor a nafta se debe utilizar un tubo que permita la introducción de una mezcla de biogás y aire al cilindro del motor, para lo que se utiliza una manguera de goma de 1”.

Para la realización de la prueba de funcionamiento del uso de biogás en el motor naftero estático de cuatro tiempos, se utilizó un motor marca Ballena, imitación Honda de 5 HP.

### Diseño del quemador

Una vez ingresada la tubería de 1" al lugar de utilización del biogás, se le agrega una llave de paso de 1" con reducción a 1/2" y de ahí se continúa con una tubería de metal de 1/2".



Quemadores con llama abastecidos por biogás

### Producción y consumo de biogás

Después de 30 ó 35 días de haberse iniciado la carga del biodigestor con estiércol y agua, en verano, otoño y primavera, y siempre que la temperatura supere los 20°C, se comienza a producir el biogás.

Esto permite que al acercar una llama o chispa al quemador se inicie una combustión con llama limpia de color azul y alta temperatura que permite la coc-

ción rápida de alimentos y el calentamiento de líquidos, al igual que el gas propano (de uso doméstico).

### Uso del biogás a nivel doméstico

En tres predios de productores pertenecientes a la Sociedad de Productores Lecheros de San Ramón (SPLSR), ubicados en Fray Marcos, Chamizo, y Rincón de Conde, donde se obtiene biogás se han instalado motores eléctricos reciclados de heladeras (compresores) para darle más presión al gas y poder utilizarlo en el tambo y la cocina.



Cocina en el predio de Víctor Azanelli en Rincón de Conde. Canelones.

El biogás también puede ser utilizado también para calefaccionar instalaciones de campo, para la cría de pollitos, y de otros animales recién nacidos tales como lechones.

También puede usarse para iluminación mediante lámparas incandescentes que no requieren gas a presión, para refrigeradores, calentadores de agua (calefones), fraguas para soldar, secadores para granos y forrajes y funcionamiento de motores estáticos para generar energía.

### Valor del efluente del digestor como fertilizante (biofertilizante líquido)

El efluente generado dentro del biodigestor puede ser utilizado como abono orgánico, ya que la diges-



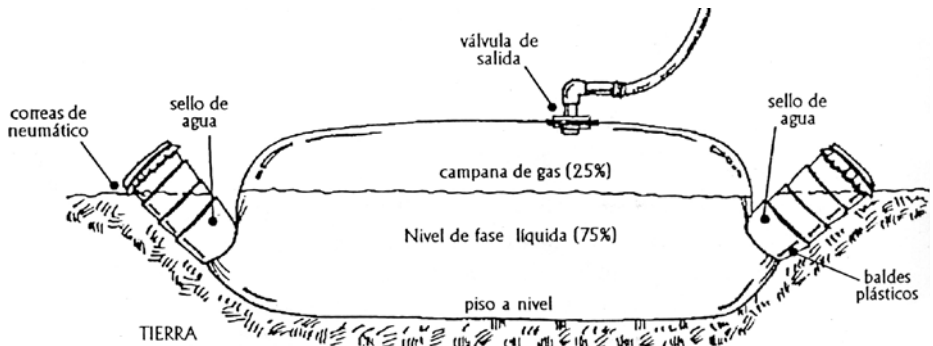
ción anaeróbica disminuye las pérdidas de algunos nutrientes con respecto a la descomposición del estiércol al aire libre. De este modo, disminuye las pérdidas de nitrógeno del 18 al 1%; en el caso del carbono, del 33 al 7 %; y con respecto al fósforo, al calcio y al potasio, las pérdidas no son apreciables.

Este efluente, que pierde todo el olor característico del estiércol que lo originó, puede ser utilizado en el mejoramiento de suelos arcillosos y arenosos que son pobres en materia orgánica, y con problemas de estructura.



Depósito para reserva de biofertilizante que sale del biodigestor.  
Predio de Miguel Lecchini (San José).

### Esquema de biodigestor luego de terminada su construcción.





Producción de biogás en el predio del Sr. Guzmán González.  
Castillos. Rocha.

## Protecciones adicionales al biodigestor

En invierno, en zonas templadas donde la temperatura disminuye por debajo de los  $18^{\circ}\text{C}$ , es conveniente proteger el biodigestor con una estructura de polietileno (tipo macrotúnel) lo que permite mantener el calor acumulado durante el día para que la fermentación se realice de forma normal.

Se propone también, en épocas de verano, proteger el biodigestor con malla sombra (sombrite), cañas u hojas de palma, a fin de disminuir la temperatura durante las horas del día, ya que las temperaturas elevadas inciden negativamente sobre la biodigestión y los rayos ultravioleta deterioran el polietileno.



Biodigestor con protección de malla sombra en verano/ sin protección en invierno  
Predio del Sr. Miguel Lecchini (San José).



Biodigester con protección (macrotúnel)  
Parque Ute-Antel (Lavalleja)

Es conveniente construir un alambrado eléctrico o cerca de alambre de malla en torno al biodigester, para evitar el ingreso de animales que puedan romperlo.



Sitio donde se ubicará el biodigester. Predio del Sr. Barboza.  
Treinta y Tres.

## Beneficios sociales de la incorporación de la tecnología a nivel productivo

Es conveniente la construcción de los biodigestores en forma participativa, es decir que las tareas que conlleva la instalación sean realizadas colectivamente.

te, con el apoyo mutuo entre vecinos. La razón es, además de la necesidad de mano de obra, el intercambio que se da entre los productores, que permite incorporar nuevos elementos para la mejora del funcionamiento de los biodigestores y la transmisión del conocimiento.

También el uso de biodigestores mejora la economía familiar reduciendo gastos por la compra de combustibles derivados del petróleo, lo que repercute directamente en la mejora de la calidad de vida de las familias. Las experiencias aquí expuestas permiten constatar un ahorro del 50 % de gas butano y energía eléctrica que fueron sustituidos por biogás. A modo de ejemplo en una quesería que se compraban 4 garrafas de 13 kg se gas butano mensuales, luego de incorporar el biodigestor, se logró reducir la compra a 2 garrafas de gas por mes.

## **Beneficios de la incorporación de biodigestores plásticos de flujo continuo en la actividad agropecuaria**

El valor monetario del biogás se estima por su capacidad para reemplazar otras fuentes de energía procedentes del petróleo que son utilizadas en zonas rurales como el gas butano, el gasoil, las naftas, el kerosén, etc.

Por otra parte, el doble valor que posee la tecnología se traduce en su capacidad de reducir la emisión de gases a la atmósfera causantes del efecto invernadero, tales como el dióxido de carbono y el gas metano, así como en la reducción de uso de combustible derivado del petróleo por la captura controlada de metano.

El valor del efluente se calcula por el valor comercial de los nutrientes recolectados al final del proceso de biodigestión, o sea, el valor equivalente de los nutrientes contenidos en fertilizantes comerciales.

Además, supone una mejora en el control de la contaminación, y en la reducción de malos olores (reduc-

ción en la emisión de SO<sub>2</sub>), así como en el control de plagas, y favorece la reducción de organismos patógenos y de semillas de malezas.

## Bibliografía

BOTERO R, y R, PRESTON. (1987). Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Manual para su instalación, operación y utilización. Universidad de EARTH. Costa Rica.

BOTERO, RAUL. 2000. El Biodigestor: Tecnología sencilla y amigable con el ambiente, al alcance de todos. EARTH. Costa Rica.

INIA LA ESTANZUELA. 1992. Manejo de residuos orgánicos en tambos. Boletín de divulgación N°23.

Taiganides, E.P. Biogás: recuperación de energía de excrementos animales. Hemisferio Sur. 1980.

ZAPATA, A. 1998. Utilización del biogás para la generación de electricidad. FUNDACIÓN CIPAV. Cali, Colombia.

PPD-PPR. 2010. TALLER : Producción de Biogás a escala familiar. Síntesis del trabajo en grupos, Colonia Valdense, Uruguay,



## Programa de Pequeñas Donaciones

El Programa de Pequeñas Donaciones (PPD) del Fondo para el Medio Ambiente Mundial que se implementa a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) opera en 120 países.

Su cometido es apoyar actividades de las comunidades locales en los temas ambientales relativos a mitigación del cambio climático, conservación de la biodiversidad, protección de las aguas internacionales, reducción de los impactos de los contaminantes orgánicos persistentes y la prevención de la degradación de tierras.

El conjunto de experiencias piloto desarrolladas junto a las comunidades locales, permite generar nuevos modelos de desarrollo sustentable, mejorar su calidad de vida y su entorno ambiental.

El PPD en Uruguay comenzó a ejecutarse en noviembre de 2005. Desde entonces, el Comité Nacional de Coordinación, (compuesto por representantes de la Universidad de la República, de organizaciones de la sociedad civil, de la Dirección Nacional de Medio Ambiente y del PNUD), ha aprobado 67 proyectos por un monto de 1.300.000 dólares, y más de 200 organizaciones de la sociedad civil han presentado alrededor de 350 propuestas de proyectos.

Los proyectos deben ser gestados en lo local, participativos en su formulación, ejecución y evaluación y adecuarse a las necesidades de las comunidades.

## Agradecimientos

Al aporte de todos los productores.

Al MSc el Profesor Raúl Botero, docente de la EARTH (Universidad del Trópico Húmedo) por su continuo apoyo.

A mi familia por su invaluable apoyo en las jornadas de trabajo y aportes a la mejora del funcionamiento de la tecnología.

A todas las instituciones que hicieron posible la generación de experiencias en el país y la reedición de esta cartilla.

A todos ellos mi más profundo agradecimiento.

**ANA CECILIA CASTILLOS NICODELLA**

Ingeniera Agrónoma, Egresada de la Facultad de Agronomía. Universidad de la República Oriental del Uruguay en 1996.

Técnico especialista en áreas de agricultura familiar, energías renovables y abonos orgánicos.

Extensionista de campo con experiencia de trabajo en equipos multidisciplinarios.

Desde 1996 trabaja en la Coordinación y Ejecución de actividades de capacitación, Elaboración y Seguimiento de proyectos de inversión en áreas productivas y ambientales para diferentes instituciones públicas y privadas.

Ha desempeñado tareas de responsabilidad técnica en proyectos ejecutados por el Instituto de Estudios Sociales, y la Sociedad de Productores de Leche de San Ramón, financiados por el Programa de Pequeñas Donaciones de Uruguay.

Se desempeña como Asesora técnica para programas del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca de Uruguay (Programa de Producción Responsable, Programa Ganadero y Programa Uruguay Rural).

Integrante del Equipo Técnico del Instituto de Estudios Sociales (IES).

Autora de numerosos artículos sobre diferentes temáticas en revistas agropecuarias de circulación nacional y publicaciones académicas.



Autora: Ana Castillos

Revisión técnica: Sandra Bazzani y Virginia Sena

Revisión edición: Itziar Ancín

Coordinadora Nacional del PPD/FMAM/PNUD: Sandra Bazzani

Asistente de Programa del PPD/FMAM/PNUD: Virginia Sena

Asistente Comunicación del PPD/FMAM/PNUD: Itziar Ancín, Voluntaria Programa UNV

**Proyecto Colonia Integra****Intendencia de Colonia**

Gral. Flores 481, Colonia.

Tel.: (+598) 45230329

e-mail: [coloniaintegra@colonia.gub.uy](mailto:coloniaintegra@colonia.gub.uy)

«La presente publicación ha sido impresa con la asistencia de la Unión Europea. El contenido de la misma es responsabilidad exclusiva de los autores y en ningún caso debe considerarse que refleja los puntos de vista de la Unión Europea».



PROGRAMA DE COHESIÓN SOCIAL Y TERRITORIAL  
**URUGUAY *integra***



Intendencia de **COLONIA**

