



**USAID**  
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS  
UNIDOS DE AMÉRICA



**MANUAL TÉCNICO**

# INSTALACIÓN Y USO DE BIOGÁS

Ganadería Puneña, generando energía limpia "biogás" para calefacción y cocina familiar



**PROYECTO: RAMIS RESILIENTE**



**CARE PERÚ, 2016**  
**OFICINA DEPARTAMENTAL PUNO**  
**PROYECTO: RAMIS RESILIENTE**

Esta publicación ha sido realizada por CARE Perú, dentro del marco del Proyecto Ramis Resiliente, financiado por USAID – OFDA. Brinda una alternativa de producción de energía limpia a partir de la ganadería.

**Elaborado por:**  
 Ing. Valerio Tapia Tapia  
 Coordinador del Proyecto

**Edición**  
 Primera edición, Octubre 2016

**Tiraje**  
 1000 Ejemplares

**CARE Perú**  
 Av. General Santa Cruz N° 659 Jesús María - Lima - Perú  
 Tel: 01 417-1100 Fax: 01 433-4153  
 E-mail: postmaster@care.org.pe

©CARE Perú • RUC: 20525163238 • www.care.org.pe

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2016-14916  
 Primera Edición, Tiraje 1000 ejemplares.

Se terminó de imprimir en los talleres gráficos de Balcarí Editores SAC, RUC: 20525009662,  
 Jr. Yungay 1695 Lima 1, a los 24 días de Octubre del 2016.

Esta publicación ha sido posible gracias al generoso apoyo del pueblo norteamericano, a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional - USAID. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan el punto de vista de USAID o del Gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica.

<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>4-5</b>
Presentación	
Importancia del sistema de biodigestor en condiciones del altiplano	
<b>CAPITULO I: CONSIDERACIONES TECNICAS DEL BIODIGESTOR .....</b>	<b>6</b>
1.1 ¿Qué es la digestión anaeróbica?	
1.2 ¿Qué es un biodigestor tubular?	
1.3 ¿Para qué sirve el biodigestor?	
1.4 Ventajas del biodigestor tubular	
1.5 Factores que afectan a un biodigestor	
<b>CAPITULO II: MATERIALES Y EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA .....</b>	<b>11</b>
<b>INSTALACION DEL BIODIGESTOR TUBULAR</b>	
2.1 Materiales especializados adquiridos	
2.2 Materiales locales	
<b>CAPITULO III: PROCESO DE INSTALACION DEL BIODIGESTOR TUBULAR .....</b>	<b>14</b>
1. Ubicación y orientación del biodigestor	
2. Construcción de zanjas y paredes del invernadero	
3. Aislamiento del piso y paredes de la zanja con material local	
4. Aislamiento de piso y paredes de la zanja con tecnopor	
5. Tendido del biodigestor al fondo de la zanja	
6. Colocación de la proyección de tubos de salida	
7. Construcción e instalación de trampa de agua	
8. Inflado del biodigestor mediante un soplador	
9. Armado de la estructura de rollizos para el techo del invernadero	
10. Recarga del substrato (mezcla de estiércol y agua)	
11. Colocación de agrofilm de invernadero (techado)	
12. Colocación de puerta de inspección del biodigestor	
13. Cubetas de sedimentación del substrato y colección de Biol	
14. Detalles de la línea de conducción de biogás (hasta mini establo y cocina)	
<b>CAPITULO IV: USO DE BIOGÁS Y BIOL .....</b>	<b>21</b>
4.1 Uso de biogás en la cocina	
4.2 Uso de biogás para la calefacción de mini establos	
4.3 Uso de biol como abono foliar para sus cultivos y pastos	
4.4 Uso de biosol como mejorador del suelo	
<b>CAPITULO V: MANTENIMIENTO .....</b>	<b>24</b>
<b>PLANOS DEL BIODIGESTOR .....</b>	<b>26</b>
<b>REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>31</b>

## PRESENTACIÓN

Este Manual se publica en el marco del Proyecto Ramis Resiliente, de CARE Perú. A través del proyecto se busca contribuir a desarrollar las capacidades de los actores locales para convivir con los eventos adversos de origen climático y proteger los medios de vida de las familias vulnerables de Puno, especialmente en las provincias de Huancané y Azángaro. En ese sentido una de las alternativas que fue desarrollada a nivel de piloto es la instalación de 10 Biodigestores tubulares, para producir biogás y biol que benefician directamente a las familias creando fuentes de energía limpia para cocinas familiares, calefacción para los ganados, y un fertilizante líquido más potente, el "Biol", para sus cultivos agrícolas y pastos.

Los biodigestores son fuentes de energía renovable que permite aprovechar los recursos locales para transformar y generar energía térmica y biol en el altiplano peruano, sobre los 3825 msnm.

La presente publicación, tiene como objetivo presentar las características generales del proceso de biodigestión anaeróbica que se realiza dentro de los biodigestores, y servir como guía para las familias rurales y personal técnico en la instalación de biodigestores tubulares. De esta manera, difundir la tecnología de la digestión anaeróbica, aprovechando sub productos disponibles de la ganadería: el "estiércol", para generar energía limpia con procesos ambientalmente responsables. El manual ayudará a diseñar y producir un volumen de biogás suficiente para ser empleado en la cocina y en calefacción para la ganadería; y el biol como abono foliar para los cultivos.

Ing. Valerio Tapia Tapia  
Coordinador del Proyecto  
CARE Perú

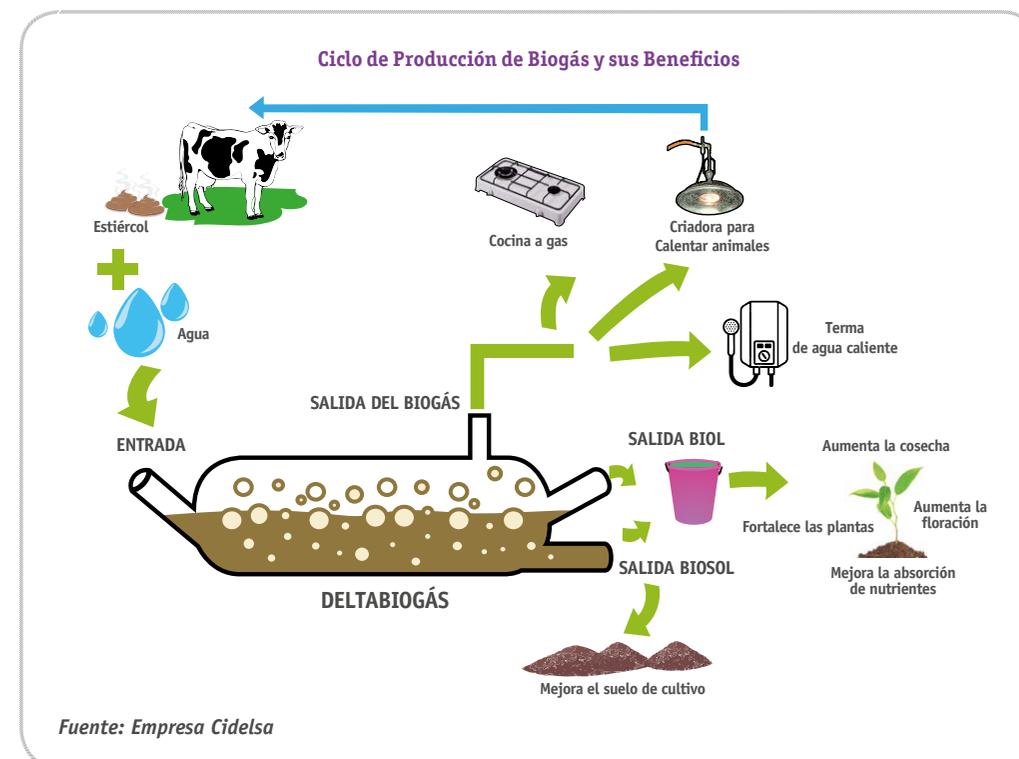
*"En muchos casos la pobreza no se debe a falta de recursos, sino de alternativas innovadoras que transformen su potencialidad en progreso y desarrollo sostenible".*

## MANUAL DE INSTALACIÓN Y USO DE BIOGAS EN EL ALTIPLANO PERUANO – PUNO

### IMPORTANCIA DEL SISTEMA BIODIGESTOR EN CONDICIONES DEL ALTIPLANO

En los últimos años, la variabilidad del clima en Puno, va configurándose en dos riesgos para las familias rurales vulnerables: éstos son las bajas temperaturas (heladas imprevistas) y la falta de agua (lluvias inoportunas y/o insuficientes). Frente a este escenario una de las alternativas funcionales es la adopción del Biodigestor.

Su importancia radica en el aprovechamiento de los desechos pecuarios (estiércol) para producir energía renovable y de bajo costo. El biodigestor procesa los residuos orgánicos para producir biogás, biol y biosol; energía y abonos naturales que dinamizan la agricultura y la ganadería. Por otro lado los biodigestores ayudan a disminuir la emisión de gases de efecto invernadero del ganado bovino, aliviando la contaminación de nuestro medio ambiente.



# CAPITULO I. CONSIDERACIONES TÉCNICAS DEL BIODIGESTOR

## 1.1 ¿Qué es la Digestión Anaeróbica?

La Digestión anaeróbica es un proceso biológico en donde la materia orgánica del estiércol es degradada por acción de bacterias presentes en el estiércol fresco de vacuno, en condiciones anaeróbicas, es decir sin presencia de oxígeno.

## 1.2 ¿Qué es un Biodigestor Tubular?

El biodigestor tubular es una manga hermética cerrada de forma cilíndrica, fabricada en material de geomembrana de PVC con alta protección a la acción de los rayos ultra violeta, impermeable al agua y baja permeabilidad a los gases. Es fabricado mediante sellado electrónico de alta frecuencia; en los extremos del biodigestor se instalan 3 tuberías de PVC de 4" de diámetro para que, por un lado se cargue al biodigestor la mezcla del estiércol con agua en una proporción de 1:3, es decir 1 parte de estiércol y 3 partes de agua.

En el otro extremo, en la parte superior se instala la tubería de 4" de diámetro por donde salen los efluentes como el Biol y en la parte inferior del mismo material es la salida del Biosol. En la parte central superior del biodigestor tubular se encuentra la conexión de tubo PVC rígido roscado de 1" de diámetro por donde sale el biogás que producirá el biodigestor.

## 1.3 ¿Para qué sirve un Biodigestor?

Sirve para producir biogás, como energía térmica para uso familiar y ganadería; biol y biosol como abonos naturales para cultivos.

En un proceso microbiológico, parte de la materia orgánica es transformada en un gas combustible denominado biogás y que tiene un alto contenido de metano ( $CH_4$ ), se considera que tiene entre 60 – 70% de metano, también dióxido de carbono ( $CO_2$ ) entre 30 – 40% y 1% de sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ) que es el que le da al biogás el mal olor que lo caracteriza antes de ser filtrado.

La degradación de la materia orgánica en condiciones de anaerobismo, también produce un residuo orgánico denominado biol, un potente fertilizante líquido foliar para la producción orgánica, y un lodo que se extrae periódicamente y es denominado Biosol, abono mejorador de suelos.

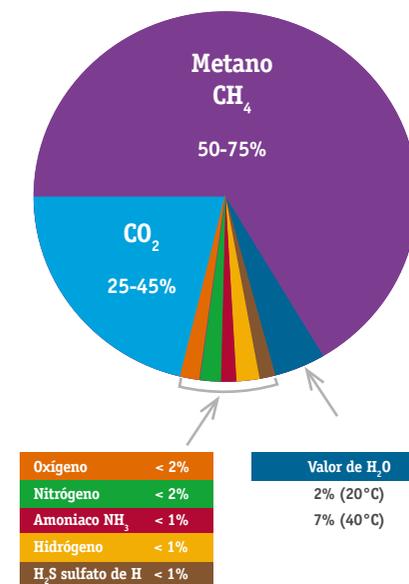


## 1.4 Ventajas del Biodigestor Tubular

Desarrollar e implementar el uso de esta tecnología en el Perú, principalmente en el altiplano puneño, constituye un importante sistema de protección ante las bajas temperaturas (heladas), que contribuirá al eficiente desarrollo económico del Sector Agropecuario, principal medio de vida de familias rurales vulnerables, sea la unidad productiva pequeña, mediana o grande pues se aplica a todas las unidades de crianza intensiva de ganado ya que los biodigestores pueden ser de poco volumen o de gran volumen.

- Este tipo de digestor es económico y fácil de transportar por su bajo peso, en especial en aquellos sitios de difícil acceso.
- Al ser hermético e impermeable, garantiza la biodigestión anaeróbica, es decir sin presencia de oxígeno.
- El color oscuro del material y su acondicionamiento en la instalación, permiten ganar mayor calor en el altiplano, a comparación de otros modelos de biodigestor.
- Fácil de instalar ya que son prefabricados, las tuberías de PVC son insertadas por el fabricante. Tanto la Entrada y Salida del purín así como el conector de PVC rígido roscado de 1" de diámetro.
- El proceso de fabricación es por sellado electrónico de alta frecuencia (HF)
- A diferencia del biodigestor de polietileno, la geomembrana de PVC es mucho más resistente, durable y fácil de reparar.

Composición del Biogás



Fuente RENAC

- Es de larga duración porque su diseño permite extraer lodos que de quedarse van llenando paulatinamente el volumen útil del biodigestor
- La geomembrana de PVC para este fin tiene alta protección contra los rayos UV solares y los ácidos orgánicos que se generan en el proceso de biodigestión.

## 1.5 Factores que afectan a un biodigestor

La producción de biogás en un digestor depende de diferentes factores:

- La temperatura
- El Tiempo de Retención Hidráulico (TRH)
- Las bacterias
- La relación Carbono/Nitrógeno
- La relación Carbono/Fósforo
- El pH (la acidez)
- El contenido de sólidos
- El contenido de sustancias tóxicas.

A continuación mencionaremos cada uno de estos factores que son determinantes en el diseño y en el buen funcionamiento del biodigestor.

### 1. Temperatura

La actividad biológica depende de la temperatura, y por lo tanto la producción de biogás depende también de esta variable. Teóricamente se podría decir que la degradación anaeróbica se da en un rango de temperatura entre 3° y 70°C.

Debido a que la producción de biogás se da por diferentes tipos de bacterias, existen rangos diferenciales de temperatura para cada uno de los tipos de bacterias:

- El rango de temperatura de las bacterias Psicrófilas está por debajo de los 20°C.
- El rango de temperatura de las bacterias Mesófilas está entre los 20°C y los 40°C.
- El rango de temperatura de las bacterias Termófilas está por encima de los 40°C.

Si bien la actividad biológica y la producción de biogás aumentan con la temperatura, se debe tener cuidado que la temperatura dentro del biodigestor no baje. Para este fin se debe aislar la zanja con una mezcla de planchas de tecnopor de 4" (poliestireno expandido) y totora seca o en su reemplazo con paja de cebada. El techo se debe cubrir con un film agrícola de invernadero (Agrofilm CA. 10; 3 m de ancho) sobre paredes de adobe. Se debe tomar en cuenta que los biodigestores instalados son termófilos y que su temperatura óptima es de 35°C. Con el aislamiento se persigue conseguir un micro clima que le proporcione al biodigestor una temperatura cercana o superior a los 35°C.



La temperatura está relacionada a su vez con el Tiempo de Retención Hidráulico (TRH) o tiempo que permanece la materia orgánica dentro del digestor para completar su degradación, ya que a medida que se aumenta la temperatura se requieren menor TRH, disminuyendo a su vez los volúmenes requeridos para degradar la misma cantidad de materia orgánica (Cañas, 2008; Carrillo, 2003; ISAT & GTZ, 1999).

### 2. pH

El valor óptimo para la digestión metanogénica es de 6.5 - 7.5, es decir cercana a un pH neutro. Cuando baja de un pH= 5 puede resultar la inhibición del crecimiento de las bacterias metanogénicas. Si ocurriera así, habría disminución de la producción de metano y un aumento del CO2 y la presencia de olores desagradables por el aumento del sulfuro de hidrógeno.

### 3. Tiempo de retención o TRH

El tiempo de retención es el tiempo medio que la mezcla de agua y estiércol que entran al biodigestor, permanece en el digestor y en que las bacterias digieren la materia orgánica contenida en el estiércol y producen biogás. Este tiempo, por tanto, dependerá de la temperatura de la región donde se vaya a instalar el biodigestor. Así, a menores temperaturas se requerirá un mayor tiempo de retención, es decir las bacterias en menor actividad, requerirán mayor tiempo para digerir el estiércol y producir biogás.

Este factor depende de la concentración, tipo de desecho a degradar y de la temperatura a la cual se va a operar el biodigestor. Valores típicos del TRH para la degradación del estiércol de los vacunos operando bajo un rango mesofílico varían entre 20 a 60 días. Podemos tomar como referencia los siguientes datos:

---

**En la Selva con temperaturas promedio de 30°C el TRH es de 20 días**

**En la Sierra con temperaturas promedio de 10°C el TRH es de 60 días**

**En la Costa con temperaturas promedio de 20°C el TRH es de 30 días**

---

*Fuente: Jaime Marti- Biodigestores Familiares*

Sin embargo la experiencia en Puno a partir de los 10 biodigestores dio como resultado 50 días de TRH como promedio, esta aceleración obedece a distintos factores como el buen sistema de aislamiento, calidad del estiércol que obedece a la calidad de alimentación de la ganadería, entre otros.

#### 4. Relación Carbono/Nitrógeno

Toda materia orgánica contiene en su composición Carbono y Nitrógeno que sirven de alimento a las bacterias metano génicas. En general como aceptable una relación de 25 – 30. Es decir entre 25 - 30 partes de Carbono y una parte de Nitrógeno.

Valores superiores disminuirán la velocidad de reacción de las bacterias, y valores inferiores pueden crear problemas de inhibición de la actividad bacteriana.

Las excretas de vacunos tienen en general 32% de Carbono y 1.5% de Nitrógeno, obteniéndose una relación C/N de 21 que se acerca a la proporción más adecuada.

Se recomienda no utilizar un solo tipo de sustrato y lo ideal es combinar materiales ricos en Carbono y otros ricos en Nitrógeno (previo análisis) para obtener un buen balance de nutrientes y así permitir el fácil crecimiento de las bacterias metanogénicas dentro del biodigestor, lográndose un incremento considerable en la producción de metano. También se recomienda usar grasas de origen vegetal principalmente y en una proporción de 2.5% al 5% del total del volumen de carga del biodigestor.

En un estudio realizado en Costa Rica por investigadores de la EARTH, se probaron tres tratamientos que consistieron en la adición de 0%, 2,5% y 5% de aceite vegetal a un biodigestor alimentado con excreta porcina y vacuna, y se obtuvo un incremento directo de la producción conforme aumentó el porcentaje de aceite.

El tratamiento con 0% de aceite presentó un volumen de 244 litros de biogás, el tratamiento con 2,5% de aceite presentó un volumen de 342 litros, y el tratamiento con 5 % de aceite agregado presentó un volumen de 477 litros (Dias, Kreling, Botero y Murillo, 2007).

#### 5. Tóxicos e Inhibidores

La presencia de desinfectantes, antibióticos (Bacitracina, Flavomicina, Lasalocid, Monensin, Espiramicina, etc.) o metales pesados entre otros puede provocar problemas al desarrollo de los microorganismos.

#### 6. Separación de Sólidos

No hay que permitir que ingresen al biodigestor ni arena ni plásticos; se deben separar mediante técnicas de flotación y separación. Considerar que el tamaño de las partículas que van a ingresar deben ser de entre 10 a 40mm. Así se producirá una mejor degradación biológica de los sustratos y se producirá mayor cantidad de biogás.

#### 7. Cómo aumentar la producción de Biogás

Para aumentar la cantidad de biogás producido diariamente, se puede inocular con bazofia o estómago de ganado vacuno, ovino conocido también como rumen que tiene una gran cantidad de micro organismos metanogénicos. Por otro lado es importante considerar la calidad del estiércol, fresco y provenientes de alfalfa. Esta es una alternativa eficiente y de bajo costo para acelerar y aumentar la producción de biogás.

## CAPITULO II.

# MATERIALES Y EQUIPOS NECESARIOS PARA LA INSTALACIÓN DEL BIODIGESTOR TUBULAR

La instalación de un biodigestor requiere de materiales especializados adquiridos y materiales locales, la cantidad de cada material a usar dependerá del tamaño del biodigestor que obedece a la necesidad de la energía y tenencia de ganado.

### 2.1 Materiales especializados adquiridos

- **Biodigestor tubular de geomembrana:**

Este modelo de biodigestor tubular utiliza Geomembrana de PVC de 1.0 mm de grosor, color negro para mejorar la captación del calor solar. Especializada para resistir los ácidos orgánicos que se producen en la digestión anaeróbica y es sellada por alta frecuencia en el taller de fabricación. Básicamente es una manga de geomembrana de PVC con dos tapas en las cuales se instala tubos de salida y entrada.

Es un modelo de biodigestor semi continuo porque se carga una vez al día y se extrae diariamente la misma cantidad de biol que la mezcla que se cargó. Se llama de flujo pistón porque la mezcla diaria que se carga va avanzando paulatinamente por el empuje de la siguiente carga hasta que al final una vez que se ha cumplido su TRH, sale convertido en biol por el otro extremo del que fue cargado. Los tamaños que se instalaron en Puno son de 12.7 m y 14.7 m de largo y 1.75 m de diámetro para ambos modelos.

El biodigestor tiene un tubo de entrada y dos tubos de salida, además tubo de 1" de diámetro salida de biogás.

- **Tubos de ingreso o carga de sustrato (mezcla de estiércol y agua):**

Es un tubo de PVC clase 10 de agua, de 4 pulgadas de diámetro, que debe usarse para la carga o admisión de la mezcla de agua y estiércol. Este tubo de PVC está colocado en un extremo de la manga de geomembrana, y se ubica a 15 cm por debajo del punto medio horizontal del biodigestor y debe estar siempre lleno de agua por al menos 15 cms de purín para que no entre aire o escape biogás.

Se recomienda construir una caja de suspensión de la mezcla de estiércol y agua, para separar o extraer el material celulítico y piedras/terrones, porque estos materiales pueden obstruir con facilidad la tubería de entrada, o una vez dentro del biodigestor formar natas superficiales que dificulten la producción de biogás.

- **Tubo de salida del Biol:**

El diámetro del tubo es de 4" de PVC, Clase 10 de agua. Este tubo se localiza arriba a 15 cm del punto medio de la altura del biodigestor. Este debe estar siempre lleno de agua hasta el tope para que no entre aire ni escape de biogás.

- **Tubo de salida de lodo o de limpieza:**

Este tubo también tiene 4" de diámetro y está ubicado a 5 cm del nivel inferior del biodigestor. El mismo debe llevar una llave de paso de 4" de diámetro la cual tiene que estar cerrada y solo ser abierta para la descarga del lodo que se sedimenta en el fondo del biodigestor que debe ser extraído cada 6 meses, abriendo la respectiva llave de paso.

- **Tubo de salida de Biogás:**

Esta salida es de PVC rígido de 1" de diámetro, de calidad hidro, de preferencia, la inserción de esta salida de biogás se ubica sellada en la parte media superior del biodigestor y desde aquí empieza la conducción de biogás hasta los gasómetros que están en el mini establo y la cocina.

- **Bolsa de almacenamiento - Gasómetro**

En la experiencia de Puno cada Biodigestor familiar se instaló con 2 gasómetros, uno para la cocina y otro para la calefacción del mini establo para ganado. El gasómetro es un contenedor que permite acumular o almacenar el biogás producido por el biodigestor, cuando no se está usando los quemadores entonces el biogás llenará el gasómetro; y cuando se abren las llaves de los quemadores entonces el gas saldrá del gasómetro hacia los quemadores, ya que buscará el camino más corto y con mayor presión. Estos gasómetros son también fabricados a base de geomembrana de PVC de 1mm de grosor. Las medidas son de 1.4m de ancho x 3.0m de longitud.

- **Criadoras infrarrojo:**

Las criadoras radiantes de gas son sistemas de radiación de calor producto de la combustión del biogás. La eficiencia energética en estos sistemas consiste en tomar de una fuente de producción del biogás combustible y ser llevado a las criadoras con la ayuda de un soplador.

- **Soplador del biogás:**

Este equipo electrónico, intercepta la conducción del biogás para dar la presión y el flujo de operación de las criadoras infrarrojo en el mini establo o en la cocina, es decir se tendrá mayor potencia de fuego en la cocina y mayor calor al interior del mini establo.

- **Cocina de dos hornillas:**

Esta cocina consta de dos quemadores de aluminio para biogás, podría ser de mayor número de quemadores pero requerirá de soplador para aumentar la presión del flujo de biogás a la cocina.

- **Tuberías de conducción y accesorios:**

Además de los materiales mencionados, se requieren tubos de PVC de 1 y 1/2 pulgada, codos, Ts, uniones, pegamentos, cables N° 14, jebes para el techo, tecnoport de 10cm de grosor para el aislamiento, manómetro de columna, filtro de H<sub>2</sub>S, válvula de sobrepresión, trampa de agua y válvula anti retorno. Las cantidades dependerán del tamaño del biodigestor y la distancia de conducción desde el biodigestor hasta la cocina y mini establo.

Se recomienda usar tuberías de hidro para agua caliente en los exteriores, hay que usar tubos de calidad para evitar que con el tiempo se creen fisuras por donde escapará el biogás. Las tuberías de plástico tendrán que protegerse del sol cuando viajen por arriba, y deberán protegerse de rocas y pesos cuando estén enterradas. Se recomienda también usar teflón y pegamento de pvc en las uniones.

Existen tres reglas básicas que hay que seguir en la conducción y recorrido de las tuberías:

- Disminuir la cantidad de tubos y codos a usar.
- Colocar al menos una válvula de seguridad.
- Nunca instalar los tubos en horizontal, sino siempre con pendiente y en cada punto "bajo" instalar una trampa de agua.

## 2.2 Materiales locales

- **Adobe:**

Los muros del invernadero deberán ser de adobe, para almacenar y retener calor al interior del biodigestor, en total se requieren un promedio de 500 adobes de preferencia de 30 cm x 15 cm x 40 cm, para el tamaño de 12.7 m de longitud.

- **Rollizos de eucalipto**

Estos rollizos servirán para armar la estructura de techo del invernadero que será cubierto finalmente con material de agrofilm u otro material como policarbonato. En total se requieren 11 rollizos de 2.5" diámetro, de 3 metros de longitud cada uno (para 12.70 m de longitud del biodigestor).

- **Totora seca o paja de cebada**

En la práctica funciona mejor la totora seca para el aislamiento de la segunda capa del piso y las paredes laterales, porque muestra mayor facilidad para acomodarse a la forma de la zanja en comparación con las pajas de cebada que son más rígidas. En total se requiere de 4 a 5 metros cúbicos de volumen.

- **Madera para la puerta de acceso**

Se requieren 1 m<sup>2</sup> de tabla de madera para construir una puerta de entrada al interior del invernadero, y realizar labores de mantenimiento. Esta puerta deberá ser aislada con plancha de tecnoport u otro material para impedir el ingreso de aire frío del exterior.

## CAPITULO III.

# PROCESO DE INSTALACIÓN DEL BIODIGESTOR TUBULAR

**El paso a paso para instalar un biodigestor y ver su funcionamiento es como sigue:**

### 1. Ubicación y orientación del biodigestor

El biodigestor debe estar ubicado en un punto intermedio entre la cocina y el mini establo (lugar donde duermen los ganados), para facilitar el recojo del estiércol y la recarga del biodigestor diariamente, además se ahorrará en material de conducción de biogás al ser menor el recorrido. Es importante considerar que la zanja del biodigestor no interrumpa pasos de animales o personas, ni recibir sombra de árboles o paredes. La orientación longitudinal de la zanja debe ser de Este a Oeste, ya que la radiación solar juega un papel importante en el calentamiento directo del biodigestor.



### 2. Construcción de la zanja y paredes del invernadero (ver planos)

Una vez ubicado el lugar donde estará el biodigestor, hay que proceder con el trazo correspondiente según el plano. Las 4 paredes de la zanja tendrán forma de 'chaflán' (inclinadas en forma de 'v'), de esta manera se evitará que se desmoronen las paredes, y se acomoda mejor la forma tubular del biodigestor. La zanja debe tener una inclinación de 3% de desnivel hacia la cosecha de biol y biosol, para facilitar la evacuación de biosol.

En el contorno superior de la zanja, a 10cm y 20 cm, se construyen paredes de adobe. La pared orientada



hacia el Norte, tendrá una altura de 0.40 metros, y la pared del Sur, una altura de 1.50 metros, de forma que sobre ellos irá colocada la estructura de rollizos y el plástico de invernadero, quedando con una caída perpendicular al recorrido del sol. También se construirán a los dos laterales, una estructura de sedimentación por donde se cargará el substrato (cercano al mini establo), y en el otro lado para la colección de Biol y bisol; estas estructuras de preferencia deben ser de concreto de cemento.



### 3. Aislamiento del piso y paredes de la zanja con tallos de quinua y totora

Antes de proceder con el aislamiento de la zanja, es importante verificar las dimensiones y hacer una limpieza, quitando las piedras, raíces o cualquier otro material punzo-cortante, para evitar que puedan dañar al biodigestor. Tras esta acción se empieza a tender en el piso una capa uniforme (10cm altura) de tallo de quinua y totora, así mismo forrar las 4 laterales de la zanja con totora seca o paja gramíneas. Tanto la zanja como el buen aislamiento, son importantes para evitar la pérdida de calor por las noches. En las zonas inundables o con napa freática muy superficial, se podrá emplear también plásticos más baratos de color azul que se encuentran en los mercados o ferreterías.



### 4. Aislamiento de la zanja, piso y paredes con Tecnopor de 4" de grosor

Finalmente se coloca el segundo aislamiento que consiste en planchas de tecnopor de 4" de grosor, tanto en el piso como en paredes laterales. Estos materiales de aislamiento deberán estar bien presionados para lograr un buen aislamiento y que el biodigestor tubular se acomode mejor para recibir la carga. Finalmente las medidas internas con tecnopor deben ser 1.50m ancho superior y 1.10m ancho de fondo, la altura de profundidad quedará finalmente en 1.20m. Se recomienda tener más cuidado en el aislamiento y relleno uniforme en la base del cuello de los dos extremos del biodigestor.

Un buen aislamiento fomentará el aumento de temperatura y ayudará a que se inicie el proceso de digestión y producción de biogás más rápidamente.



## 5. Tendido del Biodigestor al fondo de la zanja

Una vez terminado el aislamiento con tecnopor, se procederá a desenrollar y tender el biodigestor de manera uniforme al fondo de la zanja, quedando hacia arriba el tubo de salida de biogás. Esta labor se realiza con la ayuda de dos personas ligeras, usando tablas de madera limpia para pisar. Deben tener mucho cuidado para evitar romper las planchas de tecnopor que pueden posteriormente deformar y provocar la ruptura de la geomembrana de PVC.



## 6. Colocación de la proyección de tubos de PVC de 4"

En el extremo de recarga del substrato, se debe colocar un tubo de PVC de 1.5m de longitud y 4" de diámetro al arranque del tubo que viene sellado en la geomembrana, para ello se deben lijar bien las partes de la unión, y luego cubrir este espacio lijado con pegamento catey para PVC color celeste, inmediatamente proceder a la unión de los dos tubos forzando a que llegue al límite posible de la unión. El extremo de este tubo se cubrirá con una tapa de 4" y asegurar provisionalmente con cinta aislante, hasta colocar la trampa de agua fija.



De la misma forma, en el otro extremo del biodigestor, se colocarán los dos tubos de proyección (tubo de salida de biol 1.30m longitud y tubo de salida de biosol 1.50m longitud), para la unión se debe proceder al igual que el anterior, y también sellar la tapa del tubo de salida de biol, mientras que el tubo de salida de biosol debe ser sellada con llave de paso de 4" diámetro.

## 7. Construcción e instalación de trampa de agua para la recargar del substrato

Con tres codos de 4" y uno de 45° también de 4", se construye la trampa, uniendo con ayuda de niples y pegamento, el lado de 45° se conecta al tubo que se proyecta desde el biodigestor, y al otro extremo de la trampa se coloca una reducción de 5" a 4" que sirve de embudo para facilitar el ingreso de la mezcla de estiércol con agua al biodigestor.



## 8. Inflado del biodigestor mediante un soplador

Una vez sellados los extremos de los tres tubos de entrada y salida, colocada la llave de paso de biogás en la parte superior y en el centro del biodigestor; se procede a llenar de aire el biodigestor. Esto se puede hacer de dos formas; con ayuda de un soplador eléctrico de aire conectado a la salida del biogás, y mediante acción mecánica usando una bolsa de plástico tubular conectada y sujeta con cinta de jebe al tubo de salida de biol, con ayuda de al menos 5 personas se empieza a colectar y empujar el aire hacia el interior del biodigestor, este proceso se repite hasta llenar de aire el biodigestor.

El biodigestor se llena de aire por las siguientes razones:

- Facilidad para acomodar y alinear el biodigestor a la forma de la zanja.
- Se deja toda una noche inflado, para controlar que no haya fuga de gas, es decir si al día siguiente el digestor se ha desinflado, entonces buscamos la falla y reparamos.
- El proceso de carga de la mezcla del substrato es más uniforme y seguro si el digestor está lleno de aire, de lo contrario se crearán fastidiosos dobleces y arrugas en el digestor.



## 9. Carga inicial del substrato (mezcla de estiércol y agua)

La mezcla del substrato es de 1:3, quiere decir que se debe mezclar una parte de estiércol con tres partes de agua. La carga inicial debe ser llenada cerca al 75% de la capacidad del biodigestor, en la práctica esto significa de 3 a 4 toneladas de estiércol y de 9 a 12 m<sup>3</sup> de agua, esto demora un promedio de una semana de recarga.

En Biodigestores tubulares conviene diluir mucho más el estiércol y no permitir la entrada de fibra dentro del biodigestor, de manera que no se formen 'natas' en la superficie. Además, una buena dilución de la mezcla asegura un verdadero flujo semi continuo, evitando que se atasque por exceso de materia sólida en su interior.



Una vez que empieza la producción de biogás (después de 48 a 50 días), se debe recargar el substrato diariamente, lo que estamos haciendo es alimentar a las bacterias que normalmente están en el estiércol y esta ración alimenticia es la que origina el biogás y el bio fertilizante. Esta cantidad diaria del substrato depende del tamaño y volumen del biodigestor, para el tamaño experimentado es de 60 a 90 Kg. de estiércol.

### 10. Armado de la estructura de rollizo eucalipto para el techo del invernadero

Una vez terminada la carga del substrato y reforzada la compactación de aislamientos laterales, se empieza a estructurar el techo del invernadero; para ello se debe comenzar a armar la estructura de rollizos de eucalipto de 2.5" de diámetro x 3m de longitud, el distanciamiento entre rollizos será de 1m, los 4 extremos laterales serán cerrados con el marco de cintas de madera de 2x2x10m. Todo este armazón se apoya en muros laterales de adobe. En total se requieren 11 rollizos de eucalipto (para un tamaño de 12.7m) y clavos de madera de 3".



### 11. Colocación de agrofilm de invernadero (techado)

Una vez verificada la uniformidad y seguridad de la estructura de rollizos, se procede a techar con el material de film de invernadero transparente CA 10 de 3m x 14.50m de longitud, para cubrir el invernadero del tamaño del biodigestor de 12.70m. Para tensar bien el techo, se requiere contar con cintas de jebe de 1.5" de ancho, 3mm de altura y en total 65m de longitud. Además se requiere 2.5 Kg de clavo de madera de 2". Es importante que el fito toldo quede completamente cerrado, para evitar el ingreso de corrientes de aire frío.



### 12. Colocación de puerta de inspección del biodigestor

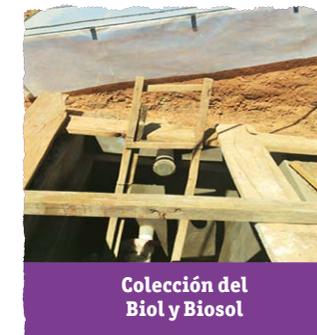
En uno de los extremos laterales del invernadero, se debe colocar una puerta de madera de 0.80m de ancho, para entrar y realizar labores de limpieza, manejo o mantenimiento necesario del biodigestor y techo. Se recomienda que esta puerta de madera esté aislada también con plancha de tecnopor u otro material.



### 13. Cubetas de sedimentación del substrato y colección de Biol

Para facilitar la comodidad en el trabajo de recarga de la mezcla del substrato, se recomienda instalar una plataforma de concreto con tres cubetas conectadas entre sí por tubos de 4" y filtros, cavidades por donde pasará el substrato y en cada uno va sedimentando lodos o piedras que contenga el estiércol, así mismo flotarán los otros materiales como pajas, ichu, etc. Materiales extraños que no deben ingresar al interior del biodigestor.

Por el otro lado del biodigestor, también se requiere instalar un cubo de concreto que servirá de reservorio para almacenar biol, así mismo por donde saldrá el biosol, abono mejorador del suelo.



### 14. Detalles de la línea de conducción de biogás (hasta mini establo y cocina)

La línea de conducción empieza en la llave de paso que se colocó en la parte central superior de la geomembrana, a través de un codo y tubo de 1" de diámetro. Luego sale la conducción hacia el exterior del muro de adobe de 1.50m de altura, pasando por la válvula de sobrepresión, filtro de H<sub>2</sub>S y trampa de agua, llegando hasta la bolsa de gasómetro del mini establo. Esta conducción es con tubo de 1/2" de diámetro y debe tener un tendido recto uniforme y con cierta inclinación hacia la trampa de agua para que no queden bolsas de agua en el recorrido.

Desde este gasómetro sale una conducción de 1/2" diámetro hasta las dos criadoras infrarrojas dentro del mini establo. Antes de las dos criadoras infrarrojas se ubica la bomba de compresión para impulsar el biogás hacia las criadoras.

Así mismo antes de este gasómetro, con un tubo en T, continúa otra conducción que va hasta el gasómetro de la cocina, y desde aquí conecta hasta la cocina de dos hornillas con quemadores de aluminio.

En este proceso, dependiendo de la distancia y ubicación, entran uniones, codos, Ts, llaves de paso, tubos, pegamentos, teflón, etc. en cantidades variables. Así mismo se requieren herramientas como saca rosca, cierra, llaves de presión, etc.

### Flujo de conducción y almacenaje de biogás



Válvula de sobrepresión y filtro de H<sub>2</sub>S



Trampa de agua detrás del biodigestor



Conducción de biogás a la cocina y mini-establo



Reservorio almacenando biogás para la cocina



Gasómetro almacenando biogás para calefacción del mini-establo y ganado

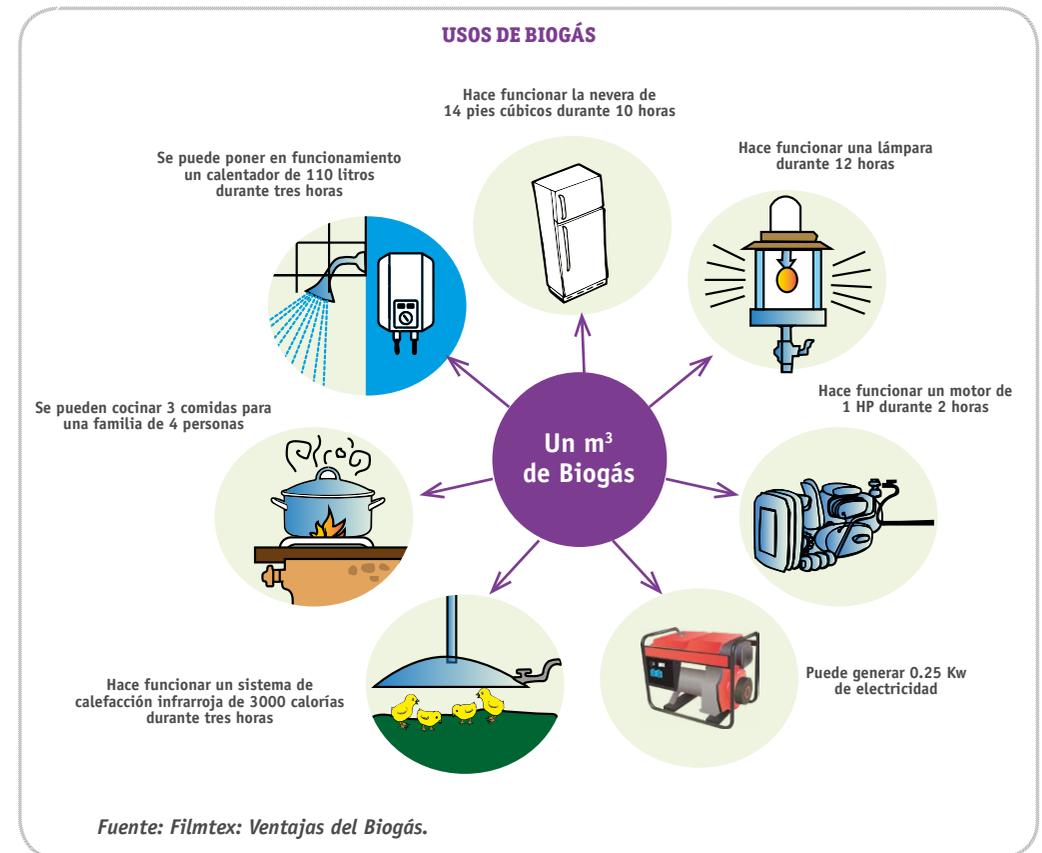


Prueba de inicio de producción de biogás y mini-establo

## CAPITULO IV. USOS DE BIOGÁS Y BIOL

Cada vez es más frecuente el tratamiento de residuos, principalmente de ganadería por medio de digestores de metanización para la obtención de biogás, y que puede ser utilizado en cualquier equipo comercial diseñado para uso con gas natural, por ejemplo para producir energía eléctrica mediante turbinas o plantas generadoras a gas, en hornos, estufas, secadores, calderas u otros sistemas de combustión a gas, debidamente adaptados para tal efecto.

Sin embargo, las condiciones adversas del clima en el altiplano, exigen desarrollar alternativas para afrontar las bajas temperaturas, en este sentido los quemadores infrarrojos, principalmente las criadoras, presentan ventajas de alta eficiencia para generar calor en un ambiente. De la misma forma para la cocina. El Biol y Biosol son usados principalmente para cultivos y mejoramiento de suelos como abono natural.



#### 4.1 Uso de biogás en la cocina

En reemplazo de la leña de madera o bosta, se puede usar el biogás como fuente de energética de cocina, antes de la conexión de la tubería a la cocina hay una llave de paso y luego el manómetro de cocina que controla la compresión del biogás. Cada hornilla de la cocina tiene la llave independiente de control de encendido y apagado, como cualquier otra cocina a gas. La carga del gasómetro puede abastecer de 2 a 3 horas de funcionamiento continuo de la cocina al día, pero si se requiere más horas de funcionamiento, solamente se abre la llave de recarga de biogás desde el biodigestor para que llene nuevamente el gasómetro.

Esta alternativa ofrece ventajas como la reducción de los problemas respiratorios y oculares, evita la contaminación al interior de la vivienda con humos tóxicos, mejora la economía familiar por el uso gratuito o barato de biogás, es ecológico porque promueve un ambiente sano y limpio, finalmente la facilidad e higiene en la cocina.



Cocina conectada y adaptada para biogás



Cocina funcionando a base de biogás en Yuntamuri

#### 4.2 Uso de biogás para la calefacción de mini establos

Las criadoras infrarrojas instaladas de manera equidistante al interior del mini establo, requieren que previamente se prenda la bomba de compresión y con ayuda de una vela o mechero, proceder al encendido de las criadoras una por una, para el encendido permanente se debe mantener presionada la llave de paso metálico y llama de fuego por unos 40 segundos, cerca a la criadora, hasta que logre controlarse automáticamente.

La carga del gasómetro, abastece el funcionamiento de 3 horas al día/noche, sin embargo en la etapa de prueba con una hora de funcionamiento de las dos criadoras fue tiempo suficiente para dejar caliente el ambiente, de modo que es suficiente la producción de biogás para los objetivos esperados, inclusive quedan aún dos horas para intervalos de 11:00pm, 3:00am en el mejor de los casos.

Este sistema permite incrementar la productividad en la producción de leche y ganancia de peso vivo para carne de ganado vacuno y otros, esto contribuirá a mejorar los ingresos económicos de la familia. Por otro lado disminuirá el desgaste de energía ante el frío y por ende el consumo de forraje por animal.



Criadora para calefacción de cobertizos con válvula solenoide y termocupla



Criadora instalada y funcionando para calefacción de ganado vacuno

#### 4.3 Uso de biol como abono foliar para sus cultivos y pastos

El biol, además de ser un abono líquido y orgánico, es un excelente estimulante foliar para las plantas, cultivos, pastos, y un completo potenciador del suelo.

El biol estimula y fortalece el desarrollo de las plantas, mejora la producción de frutos, los cultivos se vuelven resistentes al ataque de las enfermedades y los cambios adversos del clima, es ideal aplicar el biol como abono foliar después de una helada, granizada o marchitez por sequía. La producción mejorará en cantidad y superará los estándares de calidad por tratarse de un abono natural.

La mejor forma de aplicar en los cultivos es mediante aspersión foliar, y para mejorar el suelo a manera de riego; en ambos casos se recomienda aplicar en lo posible en horas de la mañana (5:30am – 9:00am) y tarde (5:00pm – 7:00pm), evitando momentos de fuerte radiación solar que puede dañar las sustancias activas que contiene el biol, además a estas horas la planta absorbe la mayor cantidad de nutrientes por las hojas.

El tamaño del biodigestor que promovió CARE Perú, producirá de 250 a 400 litros de biol diariamente, esto supera la necesidad y requerimiento de una familia, se deberá compartir con los vecinos de la comunidad para empezar a mejorar el sistema de producción agrícola.

#### 4.4 Uso de biosol como abono mejorador del suelo

El Biosol es un abono similar al compost, aplicar este abono natural permite equilibrar el contenido de nutrientes existentes en el suelo, las plantas crecen, se mantienen sanas y resistentes, sus frutos son abundantes y de calidad. Mejora la estructura del suelo y la capacidad de retención de humedad, esto favorece la actividad biológica en el suelo. El volumen de aplicación dependerá del tipo de cultivo, se requiere solo de 2 a 4 toneladas por hectárea en promedio.

## CAPITULO V.

# MANTENIMIENTO Y BUEN FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

### 5.1 Estiércol disponible

La materia prima para la producción de biogás es el estiércol fresco, porque en el estiércol seco se habrán perdido las bacterias activas. El estiércol que mayor cantidad de biogás produce es el de vacuno, cerdo o cuy.

El estiércol más equilibrado es el de vaca, ya que por cada animal se produce gran cantidad de estiércol, y por tanto es más fácil de recoger.

#### PRODUCCIÓN DE ESTIÉRCOL FRESCO DIARIO

GANADO	KG. DE ESTIÉRCOL FRESCO PRODUCIDO POR CADA 100 KG DE PESO DEL ANIMAL
CERDO	4
VACUNO	7
CAPRINO	4
CONEJOS	3
EQUINOS	7
HUMANO ADULTO	0,4 KG POR ADULTO
HUMANO NIÑO	0,2 KG POR NIÑO

Fuente: Jaime Marti 2008

### 5.2 Inóculo para una mayor producción de biogás

Es bueno usar un inóculo cuando se hace la primera carga y puede ser utilizando un biol de algún vecino o la llamada bazofia (rumen) del ganado vacuno u ovino. Hay que recogerlo lo más fresco posible para que las bacterias no se mueran.

### 5.3 Equilibrio hidráulico

El biodigestor tubular es de flujo semi continuo, y por tanto no es necesario vaciarlo a lo largo de su vida útil, aunque en este modelo tubular, mediante el uso de la llave de purga se puede vaciar casi completamente la carga o purín, en caso se requiera corregir completamente la mezcla o purín cargado.

### 5.4 Filtro de ácido sulfhídrico

Consiste en un conjunto de virutas de metal, sea de desechos de un taller de tornería o la malla de limpieza Virutex que se colocan en el interior de la tubería, solamente 2/3 del volumen de la tubería contiene la viruta. Es recomendable hacer oxidar previamente esta viruta pues el H<sub>2</sub>S reacciona con el óxido ferroso.

Hay que evitar que el biogás contenga mucho H<sub>2</sub>S porque corroe los materiales ferrosos como los de las hornillas de cocina y otros equipos. Este filtro se recomienda cambiar una vez por año pero hay que estar observando su desempeño constantemente.

### 5.5 Válvula de seguridad

La válvula de seguridad se coloca cerca del biodigestor, para que en caso de que no se consuma biogás, este sea el lugar por donde escape, de lo contrario la alta presión puede reventar el biodigestor; a la vez impide entrar aire de fuera (romper el proceso anaerobismo del biodigestor). Conviene cambiarla cada seis meses, los materiales son sencillos, botella de plástico parcialmente llena de agua, pedazo de tubo de 1/2" PVC que proviene de la conducción principal del biogás a través de una T.

### 5.6 Trampa de agua

Normalmente el biogás sale del contenedor hermético, saturado de agua, sobre todo durante las horas de sol. Al salir caliente se enfría al exterior y éste (vapor) se condensa en agua líquida, es por esta razón que la tubería se instala en pendiente para que el agua condensada caiga a la trampa sin permitir el escape del gas.

### 5.7 Uso del reservorio o gasómetro

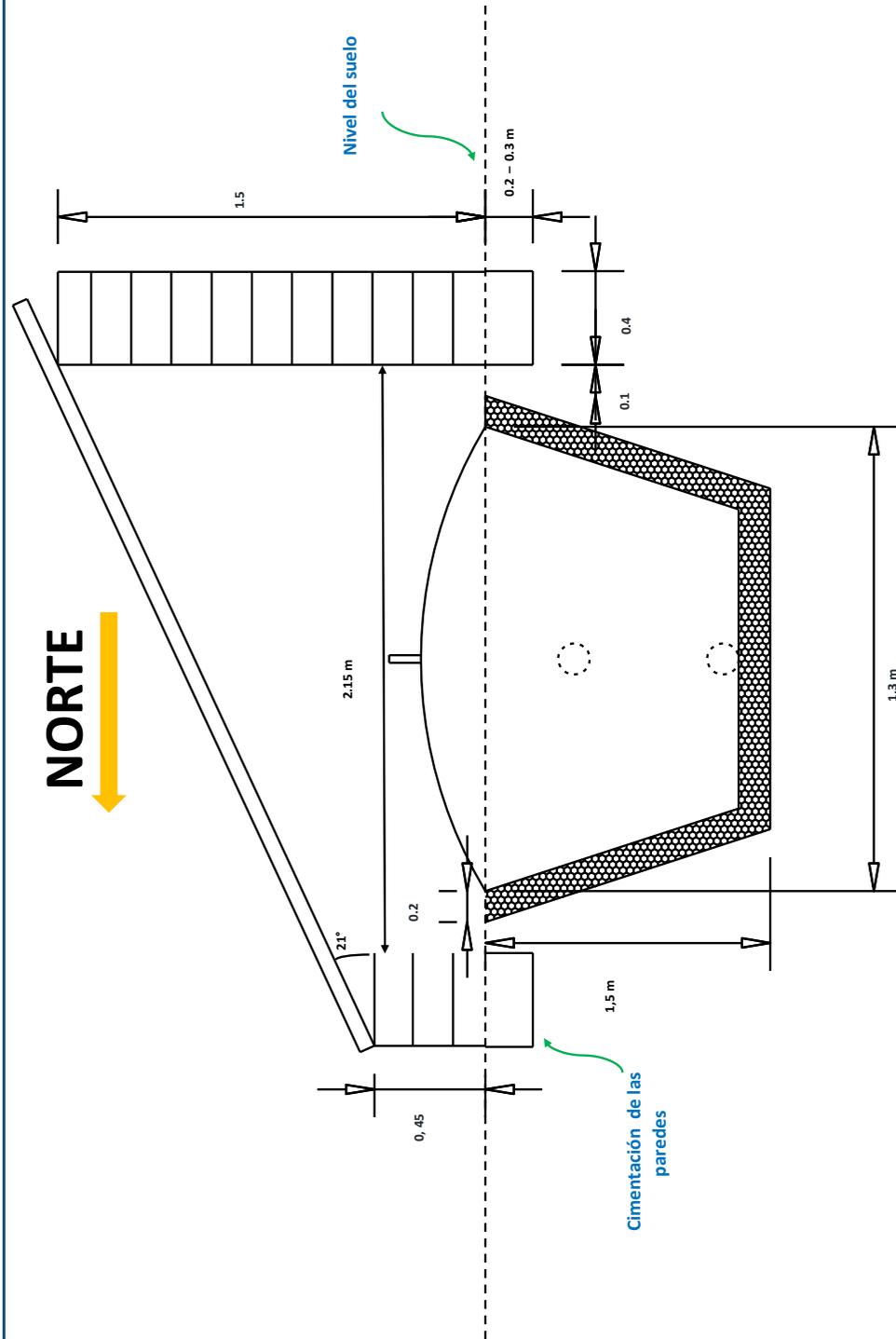
El reservorio, no solamente almacena biogás, sino que además permite aumentar la presión. Si la llama pierde fuerza en la cocina, y la calefacción en las criadoras infrarroja disminuye, se recomienda amarrar un jebe o liga de neumático alrededor del reservorio colgado. Jalando de esta liga, apretará el reservorio, comprimiendo el biogás y aumentando la presión, de manera que aumenta la intensidad del fuego en la cocina.

### 5.8 Dosis de aplicación de biol (papa)

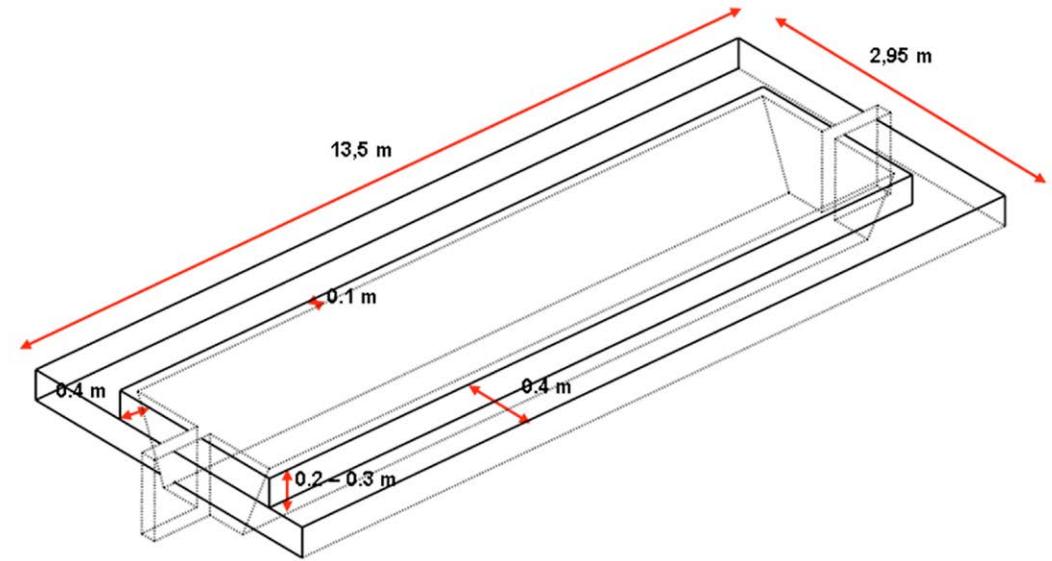
ETAPAS DE DESARROLLO	DOSIS DE APLICACIÓN
PLANTAS JÓVENES	1/2 LITRO DE BIOL COLADO PREVIAMENTE, EN UNA MOCHILA DE 20 LITROS
PLANTAS EN PROCESO DE MADURACIÓN	01 LITRO DE BIOL COLADO PREVIAMENTE, EN UNA MOCHILA DE 20 LITROS
PLANTAS MADURAS	02 LITROS DE BIOL COLADO PREVIAMENTE, EN UNA MOCHILA DE 20 LITROS







Vista lateral del digester (los adobes deben ser colocados de saga y cabeza de tal manera que el ancho de la pared sea 40 cm)



### REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- 1.- Álvarez F., Manual de uso y preparación de biol. 1a ed. Lima: Imprenta y Librería Vega. 2010.
- 2.- CIDELSA – Rodríguez E., Manual de Instalación tubular de geomembrana en zonas alto andinas. 2012.
- 3.- Hivos Sudamérica – Espejo E., Guía para el uso de biogás y Aprovechamiento de biol. 1a ed. La Paz Bolivia; 2016.

Con el auspicio de:



**PERÚ**

Presidencia  
del Consejo de Ministros

Secretaría de Gestión  
del Riesgo de Desastres



**CENEPRED**

Centro Nacional de Estimación, Prevención y  
Reducción del Riesgo de Desastres



## AGRADECIMIENTOS

**Nuestro profundo reconocimiento a productoras y productores líderes que asumieron el reto y compromiso de invertir e implementar una tecnología no antes vista en Puno, la producción de biogás para calefacción de la ganadería y cocina familiar, además de biol para la agricultura orgánica, frente a factores adversos del clima en el altiplano. A la empresa Cidelsa que ayudó en el diseño inicial de esta alternativa. El contenido de este manual se difunde como contribución al desarrollo sostenible de la región de Puno.**

## Contacto del Proyecto

Lucy Harman, Gerente del Programa de Reducción del Riesgo de Desastres

### CARE Perú

Av. General Santa Cruz N° 659 Jesús María - Lima - Perú

Tel: 01 417-1100 Fax: 01 433-4153

E-mail: [postmaster@care.org.pe](mailto:postmaster@care.org.pe)

Rendir cuentas y ser transparentes es un derecho de las personas y un deber de CARE Perú. Si usted tiene alguna opinión, reclamo o sugerencia llame gratis al **0800 - 14417** o escríbanos a: [opinion@care.org.pe](mailto:opinion@care.org.pe)

