



Ministerio
del **Ambiente**

MANUAL

Introducción de Biodigestores en Sistemas Agropecuarios en el Ecuador

Un aporte para la mitigación y adaptación al cambio climático

Introducción de Biodigestores en Sistemas Agropecuarios en el Ecuador

Un aporte a la mitigación y adaptación del cambio climático y su aplicación

Mgs. Lorena Tapia Nuñez

MINISTRA DEL AMBIENTE

Mgs. Angel Valverde Gallardo

SUBSECRETARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO

Proyecto GENCAPER (Generación de capacidades para el aprovechamiento energético de residuos agropecuarios)

Publicado por:

Ministerio del Ambiente del Ecuador

www.ambiente.gob.ec

Contenidos por:

Axionar Consulting Group C.L.

www.axionar.ec

Ph.D. Jaime Martí-Herrero

Ing. Estefanía Andrade De Santiago

Ing. Ericka Hidalgo Medina

Ing. Gerardo Parra Barrionuevo

Revisado por:

Dirección de Comunicación

Ministerio del Ambiente del Ecuador

Diagramación e Ilustración:

Isabela Lucini

Quito Ecuador, 2015.



Ministerio
del **Ambiente**

Los contenidos de esta publicación son de libre reproducción, siempre y cuando se utilice la siguiente referencia para citar la fuente:

Ministerio del Ambiente. (2015). Introducción de Biodigestores en Sistemas Agropecuarios en el Ecuador. Un aporte a la mitigación y adaptación al cambio climático. Quito-Ecuador



Proyecto GENCAPER, revisión de zanja para biodigestor
Santo Domingo - Ecuador, 2015

Contenidos

INTRODUCCIÓN

1 LA BIODIGESTIÓN

1.1 Etapas de la digestión anaerobia

1.1.1 Factores determinantes de la digestión anaerobia

1.1.2 Accesorios para uso de biogás en pequeñas y medianas granjas

1.2 Uso del biol

2 SISTEMAS DE DIGESTIÓN ANAEROBIA

2.1 Sistemas Continuos de Biodigestión

2.2 Componentes de un Biodigestor

3 BIODIGESTORES EN ECUADOR

3.1 Situación actual de los biodigestores

3.2 Proyección Futura de los biodigestores en Ecuador

4 DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DE FLUJO CONTINUO

4.1 Consideraciones generales para implementación de biodigestores

4.2 Perfil de un potencial usuario

4.3 Criterios a considerarse para la implementación de biodigestores en campo

4.4 Disponibilidad de residuos

5 MANTENIMIENTO DEL BIODIGESTOR

5.1 Revisión de la protección externa del biodigestor

5.2 Revisión de la válvula de seguridad

5.2.1 Revisión del filtro de ácido sulfhídrico H_2S

5.2.2 Revisión de la acumulación de agua en las tuberías

5.3 Agitación

5.4 Posibles problemas y soluciones

5.5 Seguimiento post-instalación

Contenidos

- 6 ESTUDIO DE CASO EN GRANJA PORCÍCOLA
 - 6.1 Diseño
 - 6.2 Cuantificación de la cantidad de estiércol producido
 - 6.3 Determinar el volumen de aguas residuales generadas por día (carga diaria)
 - 6.4 Determinar el tiempo de retención hidráulica (TRH) y fase líquida del biodigestor
 - 6.5 Cuantificar la cantidad de biol/día y biogás/día
 - 6.6 Determinar las dimensiones, largo del biodigestor y relación óptima
 - 6.7 Consideraciones prácticas
- 7 BENEFICIOS ECONÓMICOS
 - 7.1 Ahorro por sustitución de combustibles convencionales por biogás
 - 7.2 Ahorro anual por sustitución de fertilizantes sintéticos por biol
 - 7.3 Costos totales (CT)
 - 7.4 Beneficios generales a la familia
 - 7.5 Razones de fracaso de proyectos con biodigestores
- 8 BIBLIOGRAFÍA
- 9 ANEXOS

Siglas y acrónimos

ACAI	Asociación de Campesinos Agroecológicos de Intag
CEDIR	Centro de Desarrollo e Investigación Rural
CEA	Coordinadora Ecuatoriana de Agroecología
ERA's	Escuelas de la Revolución Agraria
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FONAG	Fondo para la protección del agua
INE	Instituto Nacional de Energía (Creada en 1979)
INER	Instituto Nacional de Energía Renovable
LDPE	Polietileno de baja densidad
MAE	Ministerio del Ambiente
MAGAP	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca
MEER	Ministerio de Electricidad y Energía Renovable
MINENERGÍA	Ministerio de Energía del Gobierno de Chile
MIPRO	Ministerio de Industrias y Productividad
OLADE	Organización Latinoamericana de Energía
PV	Peso vivo
PEAD	Polietileno de alta densidad
PRONACA	Productora Nacional de Alimentos C.A.
PVC	Policloruro de vinilo
RedBioLac	Red de Biodigestores para Latinoamérica y el Caribe
TRH	Tiempo de retención hidráulica
UTPL	Universidad Técnica Particular de Loja
UPOA's	Unidades porcinas adultas

Introducción

En la actualidad, el crecimiento poblacional, la ampliación de la frontera agropecuaria, el incremento de residuos de actividades agropecuarias, y las pocas tecnologías difundidas para su manejo, han llevado al Ministerio del Ambiente (MAE) a implementar estrategias de fortalecimiento de capacidades de productores agropecuarios en cuanto a tecnologías y prácticas que contribuyan a la mitigación del cambio climático.

En consecuencia, en el 2014 el MAE, mediante el proyecto GENCAPER (Generación de capacidades para el aprovechamiento energético de residuos agropecuarios) se publicó el “Manual Básico de Aprovechamiento Energético de Residuos Agropecuarios”, el cual contiene información sobre los posibles usos de estos insumos para fines energéticos. Seguido de dicho trabajo, y posterior a un análisis de sus beneficios sociales, económicos, y ambientales; se escogió a los sistemas de biodigestión anaerobia (biodigestores) como una de las tecnologías a difundirse. Dicho antecedente motivó la elaboración del presente trabajo, el cual busca presentar información técnica, específica y enfocada en la introducción de biodigestores en sistemas agropecuarios del país, de manera sencilla y comprensible para el lector.

La información se encuentra organizada en seis capítulos: el primero es una introducción a la biodigestión y sus beneficios; el segundo presenta una reseña de la presencia de biodigestores en Ecuador; el tercer capítulo hace énfasis en los sistemas de digestión anaerobia. La parte práctica del manual inicia en el cuarto capítulo, en el cual se presenta el diseño de un biodigestor; seguido del quinto capítulo, en el que se desarrolla un estudio de caso en una granja porcícola. Finalmente, el sexto capítulo muestra los beneficios económicos al utilizar un sistema de biodigestión anaerobia como una alternativa para el tratamiento de residuos.



Proyecto GENCAPER, beneficiarios del sistema de biodigestión
Santo Domingo - Ecuador, 2015

1

LA BIODIGESTIÓN

Es un proceso para tratar residuos orgánicos con microorganismos que se encuentran en el ambiente y que como resultado puede proporcionar energía y fertilizante. Existen dos tipos:

Biodigestión Aerobia

Tiene lugar cuando microorganismos (bacterias y protozoos) actúan en presencia de oxígeno sobre la materia orgánica, transformándola en productos finales inocuos y materia celular. En este tipo de digestión, el lodo se expone al aire libre y se descompone. Ejemplo: Compostaje.



Biodigestión Anaerobia

Es un proceso biológico que degrada la materia orgánica sin presencia de oxígeno, convirtiendo los residuos orgánicos de animales y vegetales en biogás y biol (fertilizante). Al utilizar estos procesos, es posible convertir gran cantidad de residuos vegetales, animales, efluentes de la industria alimentaria, fermentativa, y de la industria papelera en subproductos útiles.



Ciclo de Biodigestión

Para el ciclo de biodigestión se requiere de un biodigestor. Este es una tecnología mediante la cual se puede aprovechar la digestión anaerobia para convertir la materia orgánica en biogás (combustible) y biol (fertilizante). El estiércol de vaca y cerdo, las aguas negras, los residuos lácteos y otras aguas residuales, son materiales orgánicos que pueden ser aprovechados mediante biodigestores para producir biogás y biol.

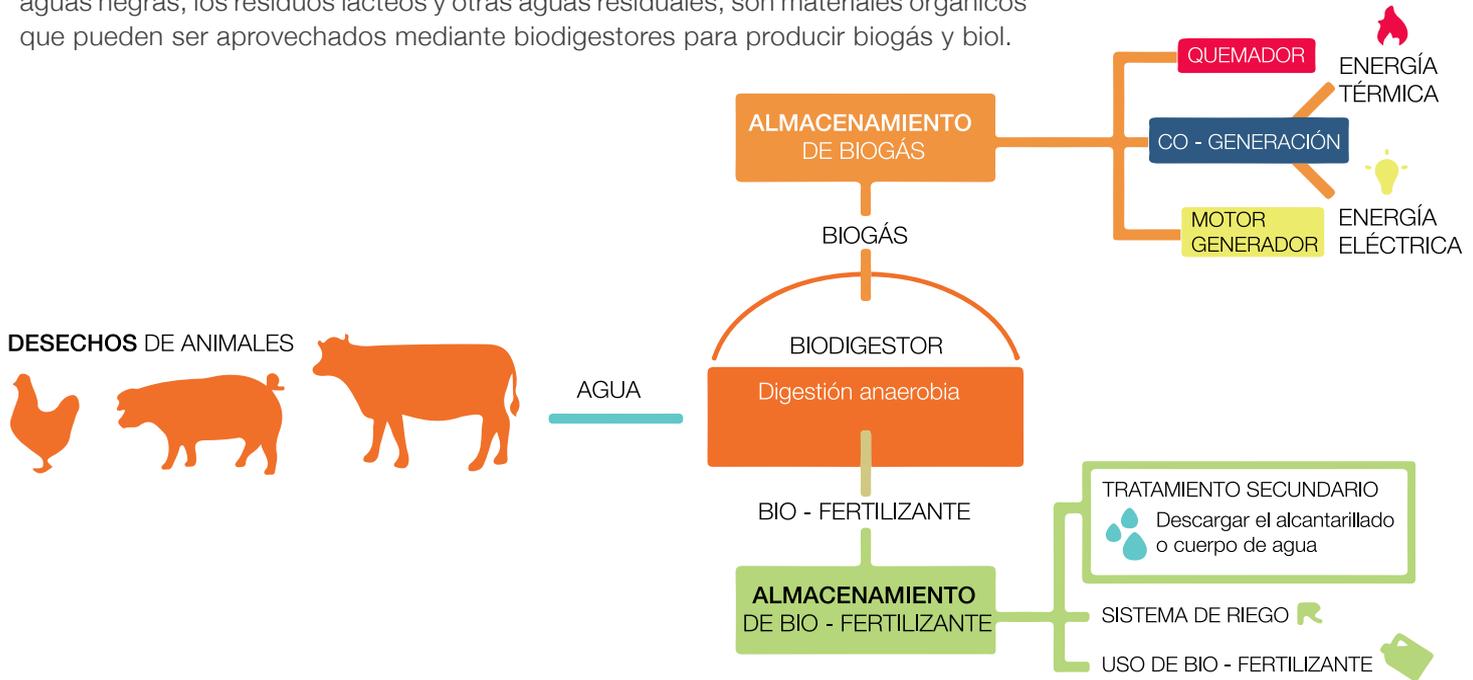


Ilustración 1. Ciclo de la biodigestión / Fuente: IRRI, 2014

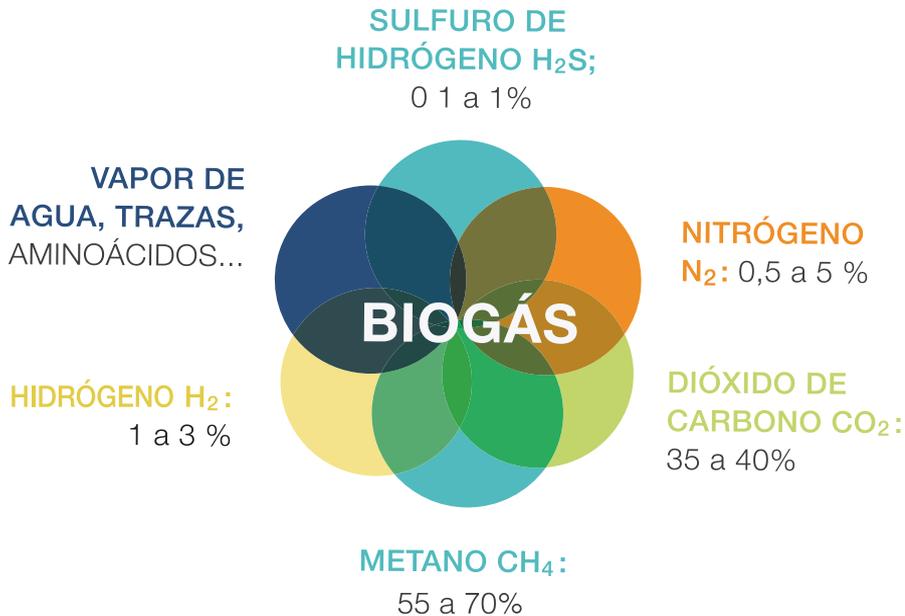


Ilustración 2. Composición aproximada del Biogás / Fuente: Samayoa *et al.* 2012.

Tabla 1. Cualidades del Biogás Vs. Gas Natural

Variables	Biogás	GLP
Poder calorífico (kwh/m ³)	7 kwh/m ³	-10830 Kcal/kg
Densidad	1,8 t/m ³	0,535 g/m ³

Fuente: MINENERGÍA *et al.*, 2011.

En la biodigestión se generan dos productos: biogás y biol. El biogás es un combustible gaseoso usado como sustituto de la leña o gas de garrafa para cocinar. El biol es el producto líquido que queda de la digestión anaerobia, y es un reconocido fertilizante que contiene nitrógeno, fósforo, potasio y 85% de materia orgánica con un pH de 7,5 (Martí-Herrero, 2008).

El biogás está compuesto por un conjunto de gases, de los cuales destaca el metano, el dióxido de carbono, y el ácido sulfhídrico. Este último da mal olor y corroe las partes metálicas; por tal razón, el biogás debe ser filtrado antes de usarse. Los porcentajes de la composición del biogás van a variar de acuerdo con la composición del residuo, la climatología y temperatura del ambiente.

Aplicaciones principales del biogás en zonas rurales

Dado que, el biogás es un combustible con un alto valor calórico (de 19,6 a 25 MJ/m³ de energía), en lugares donde se implementan pequeños sistemas de biogás se puede emplear la energía calórica para actividades básicas como cocción, calefacción de agua, e iluminación. En el caso de grandes productores, se podría llegar a producir electricidad mediante generadores, permitiendo el funcionamiento de maquinaria como chancadoras u ordeñadoras.

COCINA

Los quemadores de gas convencional se adaptan fácilmente para el uso de biogás al cambiar la relación aire-gas puesto que se requiere menos aire. Se necesita tener una presión de gas de 8 a 25 mbar* y mantener niveles de H₂S inferiores a 100 ppm** en el filtro (donde se quita las impurezas del biogás). En términos generales, un quemador de una cocina familiar consume alrededor de 300 litros de biogás por hora; mientras que, una industrial requiere de 350 litros de biogás por hora.

*1 mbar = Unidad de presión, equivale a una milésima de bar
1 bar=1000 mbar
1atm=1,01325 bar

**ppm = Partes por millón (Se usa para medir concentraciones)



Ilustración 3. Cocina doméstica adaptada para biogás en cantón Piñas, Provincia de El Oro. Proyecto GENCAPER - MAE, 2015.

CALEFACCIÓN DE LECHONES

Mientras las madres requieren entre 15 y 21 °C de temperatura, los lechones no desarrollan el mecanismo regulador de temperatura sino hasta el destete; por lo que, se busca implementar un micro clima para los lechones usando lámparas que mantienen la temperatura entre 30 y 35°C. Nótese que existen varias alternativas para aprovechar el biogás; por ejemplo, se pueden adaptar calefactores comerciales o fabricar quemadores artesanales con planchas metálicas. El consumo de biogás varía mucho según el modelo, pudiendo ser de 150 a 350 litros por hora.

TOMAR EN CUENTA

Un metro cúbico de biogás resulta suficiente para generar 5,96 kW/h de electricidad. (Botero, 2006)

Generación de electricidad o calor:

Puede ser atractivo ya que se puede generar energía eléctrica a un bajo costo. Según las experiencias presentadas por Terrazonet (Empresa Integradora de Tecnologías) ante la Red de Biodigestores de Colombia (RedBioCol), para dar funcionamiento a una lámpara de calentamiento o dos lámparas de iluminación, se necesita cualquiera de los siguientes tipos de residuos:



Ilustración 4. Calefacción de Lechones. Proyecto GENCAPER - MAE, 2015

Purificación o acondicionamiento del biogás:

TOMAR EN CUENTA

El biogás puede generar potencia mecánica para el funcionamiento de maquinaria mediante motores de combustión interna. Recuerda que en estos casos es muy importante filtrar el biogás, sino se dañarían los motores.

Como se ha comentado previamente, el biogás está formado por varios gases que deberán ser removidos para conseguir los siguientes resultados:

- Aumentar el poder calorífico del biogás (Purificándolo y filtrando el dióxido de carbono)
- Poder usarlo en motores, calderas, celdas de combustible, vehículos, etc. (Filtrando el ácido sulfhídrico)

A continuación se encuentra la equivalencia de 1 m³ de biogás:

Tabla 2. Residuos para generación eléctrica

Nro. Animales	Tipo	Valor
144	Gallina 1,5 kg	1 m ³
14	Cabra 40 kg	1 m ³
8	Ovejas 45 kg	1 m ³
50	Humano	1 m ³

Fuente: Terrazonet, s/f

Tabla 3. Equivalencia energética biogás vs. combustibles convencionales

1 m ³ Biogás	0,5 kg GLP
	0,45 l Gasolina
	5,55 kg leña
	1,5 kg carbón
	0,5 l Diesel
	0,6 l Kerosene
	5,96 kWh

Fuente: Kaki, 1984

1.1 Etapas de la digestión anaerobia

La digestión anaerobia es un proceso en cadena, donde suceden diferentes etapas en las que se van generando productos hasta llegar al biogás y el biol, que son los productos de interés. Inicialmente, se produce una hidrólisis que da paso a la acidogénesis, acetogénesis y finalmente metanogénesis. En cada una de estas etapas participan diferentes poblaciones de bacterias, las cuales se encuentran en el estiércol fresco de cualquier animal. En la ilustración 5 se muestra el proceso de la digestión anaerobia dividido por etapas y productos que se generan.

El proceso inicia cuando el estiércol es digerido por sus propias bacterias y se produce la hidrólisis, generando así ácidos orgánicos que son a su vez descompuestos por bacterias a través de deshidrogenación y acetogénesis. Los productos, el ácido acético e hidrógeno, son digeridos por bacterias metanogénicas que generan metano, el gas más importante del biogás, puesto que permite la combustión. (Martí-Herrero, 2008).

	HIDRÓLISIS (Microorganismos acidogénicos)	ACIDOGÉNESIS (Bacterias acidogénicas)	ACETOGÉNESIS (Microorganismos acetogénicos)	METANOGÉNESIS (Microorganismos metanogénicos)
PROTEÍNAS	Aminoácidos	Ácido Acético	Ácido Acético	Metano CH ₄
CARBOHIDRATOS	Azúcares	Ácido Propiónico	Hidrógeno H ₂	CO ₂
LÍPIDOS	Ácidos Grasos Cadena Larga	Ácido Butírico	CO ₂	

DIGESTIÓN ANAEROBIA - DESCOMPOSICIÓN DE COMPONENTES

Ilustración 5. Digestión Anaerobia - Descomposición de componentes

1.1.1 Factores determinantes en la digestión anaerobia

Los microorganismos de la biodigestión, especialmente los metanogénicos, son altamente susceptibles a los cambios en las condiciones ambientales. Por ende, es importante considerar los siguientes factores:

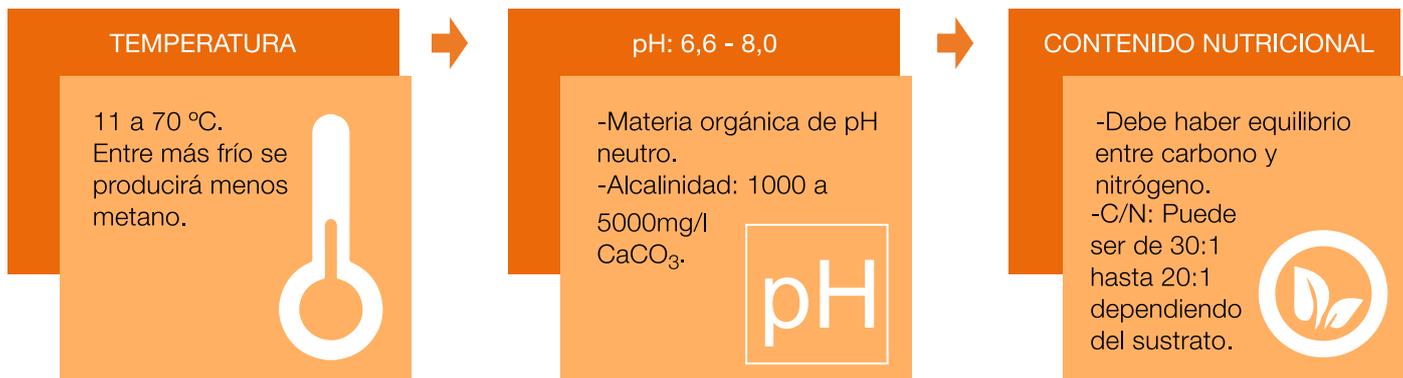


Ilustración 6. Factores determinantes en la digestión anaerobia / Fuente: Samayoa *et al.*, 2012

ASEGURARSE QUE

En el biodigestor no ingresen sustancias químicas como detergentes que afecten a los microorganismos encargados de la producción de biogás.

TOMAR EN CUENTA

Los biodigestores son una alternativa para el tratamiento de aguas residuales y el cumplimiento de las normas ambientales, ya que mejora la calidad en las descargas, disminuye la contaminación de los recursos hídricos y reduce el impacto en la biodiversidad. Y todo esto produciendo biogás (energía) y biol.

1.1.2 Accesorios para uso de biogás en pequeñas y medianas granjas

Los accesorios disponibles en el mercado son cada vez mayores, desde cocinas, generadores eléctricos, calentadores de agua, arroceras, etc.

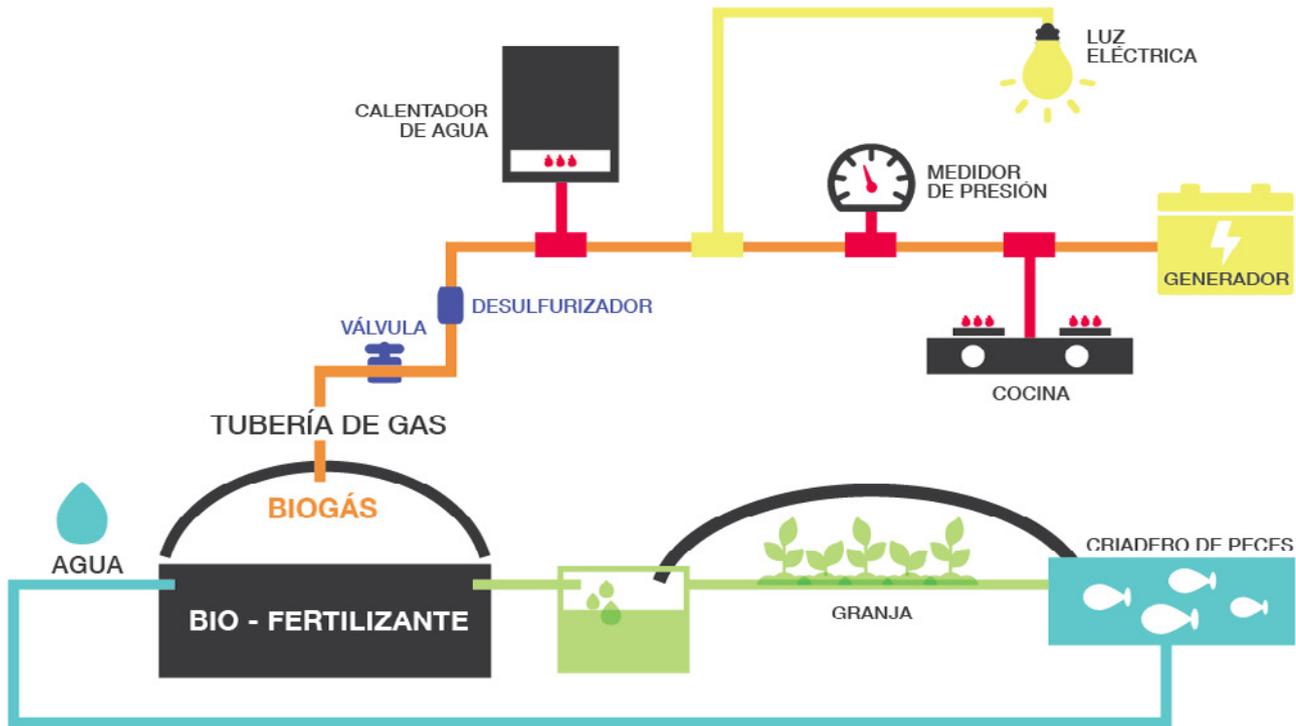


Ilustración 7. Ejemplo de red de distribución de biogás / Fuente: MINENERGÍA *et al.*, 2011

A continuación, se presenta ciertos equipos que dependiendo de las necesidades de la granja o familia se deben considerar al momento de iniciar un proyecto de digestión anaerobia:

Tabla 4. Principales equipos incorporados en la instalación de un biodigestor

Equipo	Descripción
Flujómetro	Permite una medición de volumen de biogás utilizado o producido.
Filtro desulfurizador para planta familiar	Permite la extracción del sulfuro de hidrógeno (H ₂ S) del biogás, ya que es muy corrosivo y su eliminación garantiza una vida útil más larga de los equipos.
Lámparas de biogás	Consumo biogás: 0,07 m ³ /hr
Cocina de biogás de dos hornillas	Consumo biogás: 0,20 - 0,42m ³ /hr
Calentador de agua	Consumo de biogás: 2,2 m ³ /hr Presión ingreso del agua: 0,025 – 0,8MPa Presión de gas requerida: 1,6KPa

Fuente: MINENERGÍA *et al.*, 2011.* Equipo extra para el funcionamiento de un biodigestor

1.2 Uso del Biol

El biol es el producto líquido de la digestión anaerobia de los residuos orgánicos. Se emplea como fertilizante, porque el nitrógeno, fósforo y potasio del estiércol fresco se mineraliza durante la digestión anaerobia haciéndolo disponible directamente para las plantas.



Ilustración 8. Salida de biol desde un biodigestor en una granja porcina. / Fuente: Axionar Consultores C.L.

Las principales características del biol son:

- Es rico en materia orgánica, elementos minerales y provee nitrógeno.
- Mejora la disponibilidad de nutrientes del suelo, su disponibilidad hídrica, promueve actividades fisiológicas.
- Estimula el desarrollo de las plantas: enraizamiento, crecimiento de hojas, la floración, el vigor y poder germinativo de las semillas.
- No tiene malos olores ni atrae moscas.
- Protege de insectos y recupera los cultivos afectados por heladas.
- El biol puede aumentar la producción desde el 30% hasta el 50% de los cultivos.
- Se usa en cultivos hidropónicos, huertas y medios acuáticos para aumentar plancton.

La capacidad de fertilización del biol es mayor a la del estiércol fresco y del estiércol compostado. Puesto que, el nitrógeno es convertido en amonio (NH_4), y luego a nitratos. Adicionalmente, lleva una alta carga de microorganismos benéficos y fitohormonas.

Tabla 5. Nutrientes comparativos entre abonos

Nutrientes	Estiércol compostado		Estiércol como abono		Biol	
	Rango de valor en %	Valor promedio en %	Rango de valor en %	Valor promedio en %	Rango de valor en %	Valor promedio en %
Nitrógeno	0,5 -1,5	1,0	0,5-1	0,8	1,4-1,8	1,6
Fósforo	0,4-0,8	0,6	0,5-0,8	0,7	1,1-2,0	0,55
Potasio	0,5 – 1,9	0,5 -0,8	0,5-0,8	0,7	0,8 – 1,2	1,0

Fuente: Sistema Biobolsa



Ilustración 9. Tanque receptor de biol / Fuente: Parra, 2015

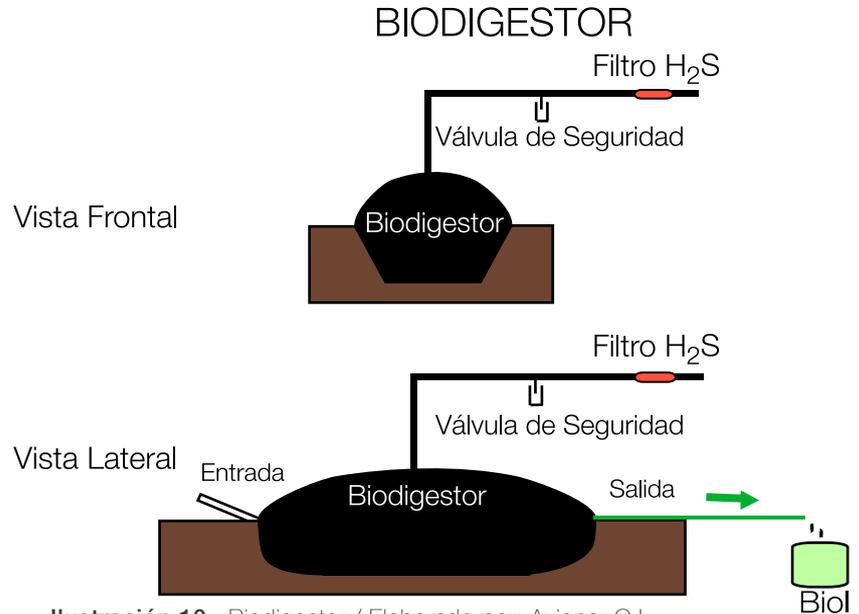
Tabla 6. Dosificaciones de biol por tipo de cultivo

Cultivo	Cantidad biosil	Forma de aplicación	Frecuencia de aplicación
Acelga	1200 l/2500 m ²	Por riego en el suelo	3 riegos con 400 l cada uno, 50 kg de urea, 40 kg de sulfato
Alfalfa	2000 l/ha	Por riego en el suelo	1 aplicación después del corte
Cebolla	3200 l/ha	Por riego rodado	Tres aplicaciones/mes
Culantro	2500 l/ha	Por riego rodado en el suelo	500 l en cada riego, cada 10 días por 5 veces
Brócoli	2400 l/ha	Por riego rodado	Primero en la siembra, segundo de 20 a 30 cm de altura y tercera cuando brota el fruto
Haba	600 l/ha	Al pie de la planta	Primera aplicación en floración y segunda después de 8 días
Lechuga	2 l/m ²	En suelo y cultivo	Primera a 15 días y segunda a 30 días
Plátano	20 l/planta	En agujero de 30 cm en el suelo a 60 cm del pseudotallo	Cada dos meses
Cacao	20 l/1000 m ²	En el follaje	Cada tres meses

Fuente: Sistema Biobolsa, (2009).

2 SISTEMAS DE DIGESTIÓN ANAEROBIA

Si bien existe una gran variedad de sistemas que usan como base la digestión anaerobia (Ilustración 10), el presente manual se enfoca en biodigestores que no requieren de sistemas activos de calefacción y/o mecanismos móviles de mezcla. Por ende, los biodigestores sobre cuyo uso se profundizará, se caracterizan por su bajo costo de inversión, su fácil manejo y mantenimiento, y por ser accesibles a los pequeños y medianos productores.



A continuación la clasificación de los sistemas de biodigestión anaerobia:



Ilustración 11. Clasificación de sistemas de biodigestión anaerobia / Fuente: Samayoa *et al.*, 2012

Según el tiempo de carga existen tres tipos:

a) Sistemas Continuos:

Se usan cuando se dispone de biomasa residual de forma casi continua, y normalmente líquida, como en procesos industriales de producción de refrescos, beneficiado de café, o camales. Dado que la disposición de biomasa líquida es casi diaria, el flujo de materia que ingresa es constante, y los tiempos de retención son menores que en los discontinuos por tratar residuos líquidos con baja carga orgánica ya disuelta.

b) Sistemas Discontinuos:

Se cargan y cierran hasta que se produzca todo el biogás, se descargan posteriormente antes de cargarse con nueva biomasa. Los tiempos de retención suelen ser prolongados y pueden instalarse biodigestores en serie y llenarlos en diferentes tiempos para que la producción de biogás sea constante.

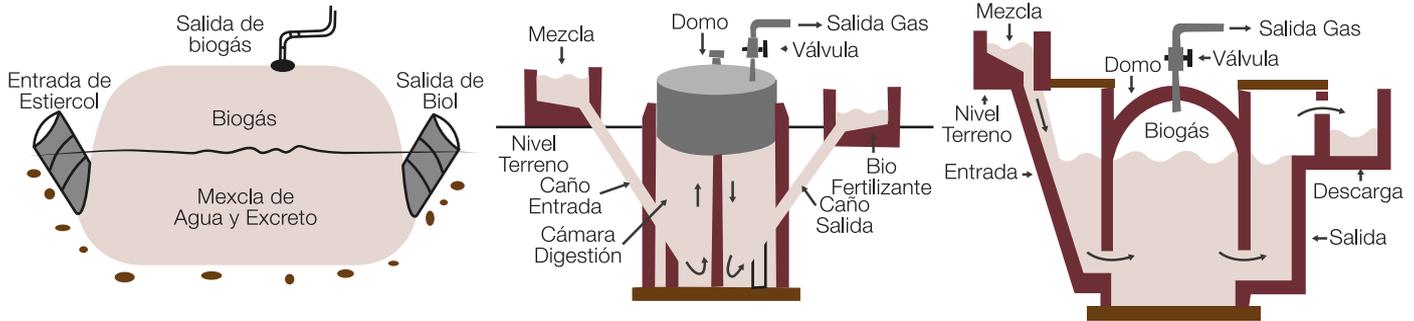
c) Sistemas Semi – Continuos:

Son los que se cargan una vez al día o a la semana, con cierta frecuencia, y permiten tratar biomasa sólida y normalmente mezclada con agua.

2.1 Sistemas Continuos de Biodigestión

A continuación se presentan los tres tipos de biodigestores de bajo costo más conocidos en Latinoamérica:

Sistemas Continuos



BIODIGESTOR TUBULAR (TAIWAN,
SALCHICHA)

BIODIGESTOR DE CAMPAÑA
FLOTANTE (TIPO HINDÚ)

BIODIGESTOR CÚPULA FIJA (TIPO
CHINO)

Ilustración 12. Tipos de biodigestores de sistema continuo Fuente: Botero, 2008 y SNV, 2012

Los tipos de biodigestores más difundidos en Ecuador y Latinoamérica a nivel de pequeños y medianos productores son los tubulares conocidos como “salchicha”, “tipo taiwanés”, o de “bajo costo”, debido a que son mas económicos y fáciles de instalar.

Tipo tubular: También conocido como salchicha o taiwanés, funciona como un intestino. La carga de estiércol y agua ingresa por la tubería, y mientras se degrada fluye hasta llegar al otro extremo produciendo biogás en el proceso. La cámara de digestión tiene forma alargada y está hecha con plástico de polietileno o geomembranas de PVC. El biodigestor debe estar siempre protegido, en el trópico y valle se puede utilizar una cubierta, mientras que en climas fríos se emplea un invernadero y aislamiento en la zanja. Este ha sido uno de los modelos más utilizados por su relación calidad/precio y su bajo costo de inversión.

Tipo chino: También conocido como cúpula fija. Normalmente se hacen en ladrillo con una cámara semiesférica. Evolución de este tipo, es el modelo CAMARTEC, desarrollado en Tanzania; dispone de dos cámaras que permiten la agitación del lodo interior aprovechando la presión del biogás acumulado.

Tipo campana flotante (hindú): Es parecido al biodigestor tipo chino, pero su componente principal es una campana que flota sobre la cámara de digestión. Cuando se genera el biogás, este ejerce presión sobre la cúpula y sube, manteniendo una presión constante de biogás, a diferencia de los otros dos modelos. Sin embargo, el costo de la cúpula es alto y requiere bastante mantenimiento.



Ilustración 13. Biodigestor de domo fijo en viacaha, La Paz, Bolivia. / Fuente: Marti-Herrero, 2013

Tabla 7. Diferencias y similitudes entre los modelos de biodigestores más conocidos

Características	Tipo de biodigestor			
	Tubular de plástico	Tubular (geomembrana PVC)	De cúpula fija	De cúpula flotante
Vida útil	1-13 años	10-15 años	=> 20 años	=> a 15 años
Presión del biogás	Variable y baja	Variable y baja	Variable	Constante
Tamaño típico	4-20 m ³	2-120 m ³	5 m ³	5-15 m ³
Materiales de construcción	Plástico polietileno	Geomembrana PVC	Cemento, ladrillo , bloque, varillas de hierro	Cemento, ladrillo o bloque, acero anticorrosivo(cúpula)
Mantenimiento del sistema	Cerco perimetral y techo. Remover la fase líquida con bomba a presión o agitadores	Cerco perimetral y echo. Válvula para evacuar sólido en la base del biodigestor	Baja, sin componentes móviles ni elementos que se oxiden	Alto mantenimiento a la cúpula, eliminar el óxido. Recubrimiento con anticorrosivos
Ubicación y requerimiento de espacio	Semienterrado Espacio: Medio Cerca explotación pecuaria	Semienterrado Espacio: Medio Cerca explotación pecuaria	Bajo tierra Espacio: Poco Espacio: extracción de biogás	Bajo tierra Espacio: Poco Espacio: cúpula flotante
Reparaciones	Hoyos de hasta 5 cm	Fácil parchar	Impermeabilizar	Soldar la cúpula
Costo	Bajo	Medio	Alto	Alto
Tipo de residuo	Aguas residuales de cualquier sector y de letrinas	Aguas residuales de producción y letrinas	Sin restricción	Mucha fibra causan problemas a cúpula
Reservorio de biogás	Si, de bolsa de polietileno o geomembrana	Geomembrana de calibre menor	No	No
Reubicación	Factible	Factible	No es Factible	No es Factible

Fuente: Samayoa et al. 2012 y Martí-Herrero *et. al.* ,2012

TÓMESE EN CUENTA

La digestión de los cerdos es ineficiente y por consiguiente, en el estiércol quedan restos del grano no digerido, Por lo tanto, las aguas de lavado deberían pasar por un “separador de sólidos”.



Ilustración 14. Separadores de sólidos por flotación. Proyecto GENCAPER - MAE, 2015.

2.2 Componentes de un Biodigestor tubular

Caja de mezcla de entrada:

Es el lugar donde se almacena los residuos orgánicos y aguas residuales (desechos orgánicos mezclado con las aguas de lavado) de la granja, finca o industria donde está instalado el biodigestor. También sirve para retener los sólidos como pajas y sólidos que caen al fondo como los granos no digeridos, por ello requiere de la limpieza cada cierto tiempo según su tamaño y el tipo de residuo. Seguido de la caja de mezcla se encuentra el separador de sólidos. Es importante pues permite eliminar mediante mallas o extrusores los sólidos como pajas, y otros, impidiendo que ingresen al biodigestor. (SNV, 2009)

Separador de sólidos:

Por flotación: Separador que contiene 3 o más cámaras de concreto u otro material, conectadas entre sí. En cada cámara se separan las fibras por efecto de flotación y el material pesado por precipitación al fondo. Se limpia diariamente o según la frecuencia de su uso

Por malla: Separador compuesto por varillas, los líquidos pasan y solo los sólidos se retienen en la malla. Una gran ventaja es que separan fibras más pequeñas que 1 mm.



Ilustración 15. Biodigester de geomembrana en granja porcina. Proyecto GENCAPER - MAE, 2015

Extrusor: Equipo mecánico usado en caso de alto volumen de estiércol (más de 100 animales). Tiene un tornillo sin fin que empuja las aguas con estiércol contra mallas, separando el agua de la fibra.

Biodigester:

Tiene una cámara de digestión donde ingresa la materia para ser degradada y una cúpula en la que se deposita el biogás producido. Tiene una entrada y dos salidas. La entrada puede conectar con la caja de mezcla o separador de sólidos para el ingreso de la materia prima. La primera salida es la del biogás, y está en la parte superior de la bolsa, la otra es la del biol, y se encuentra al otro extremo respecto a la entrada, conectando con la caja de recepción del biol.

Un biodigester tubular se puede construir usando como base los siguientes materiales: plástico (polietileno), geomembrana de PVC (policloruro de vinilo), tuberías de 4 o 6 pulgadas para la entrada de residuos y la salida de biol, tuberías de riego de 1, 3/4 o 1/2 pulgadas para la conducción del biogás, y accesorios comunes como llaves de paso, codos, tes, etc.

Caja/ recipiente receptor de biol:

La cantidad de biol producida es similar a la cantidad de materia orgánica y agua residual que ingresa diariamente. Se debe considerar la recopilación de este líquido sea en lugares de fácil drenaje y así facilitar el acceso hasta los cultivos que se desee abonar. La caja receptora puede fabricarse de cemento, plástico o tanques prefabricados.

Válvula de seguridad/alivio:

Es el primer elemento en la salida de biogás para la conducción. Es necesaria pues en caso de no consumirse el biogás, permitirá que el mismo escape y a su vez evitará que ingrese aire al sistema (lo cual perjudicaría el proceso interno del biodigestor).

Conducción y filtrado del biogás:

Para la conducción del biogás se necesita implementar tuberías y llaves de paso. El filtro del biogás elimina el ácido sulfhídrico.



Ilustración 16. Conducción y válvula de alivio / Fuente: Parra, 2015

3

BIODIGESTORES EN ECUADOR

En Ecuador, el uso de biodigestores empezó en la década de los 70 con la Organización Latinoamericana de Energía OLADE. En 1979 se creó el Instituto Nacional de Energía INE y en 1980 desarrolló un programa nacional de capacitación y difusión sobre la tecnología de los biodigestores. Este programa se realizó en la Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL y se iniciaron investigaciones en las provincias de Guayas, Manabí y Chimborazo. Después de varios años de construcción e investigación en biodigestores, se implementaron 65 biodigestores, la mayoría de tipo hindú; sin embargo, solo 35% están en funcionamiento. Uno de los mayores inconvenientes fue el financiamiento del mantenimiento de los biodigestores instalados. En general, en la década de los 90, los biodigestores en Ecuador y a nivel mundial no obtuvieron los resultados esperados.



Ilustración 17. Primeras experiencias de biodigestores en Ecuador, cantón Las Lajas. / Fuente: Parra, 2011

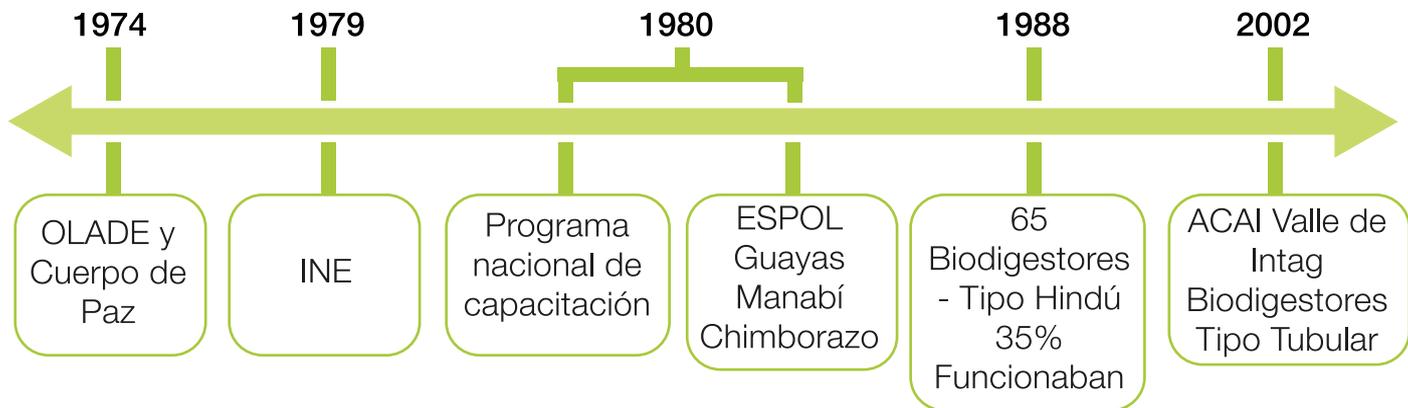


Ilustración 18. Línea Histórica de los Biodigestores en Ecuador / Fuente: Pelaez *et al.*, 2015

En el 2002, la Asociación de Campesinos Agroecológicos ACAI inició la instalación de biodigestores tubulares en el Valle de Intag, siguiendo el modelo implementado por Botero y Preston en 1987; estos modelos son semienterrados, tienen forma de salchicha y son elaborados con polietileno o geomembrana. En total, la ACAI construyó 60 biodigestores durante 10 años y se estima que del 85% al 90% están en funcionamiento.

La ACAI, tomando como punto de partida los buenos resultados obtenidos, inició la transferencia de tecnología a otras asociaciones de la Coordinadora Ecuatoriana de Agroecología CEA, como son: El Centro de Desarrollo e Investigación Rural CEDIR en Cuenca y la Red Agroecológica de Loja. Esta tecnología se desplazó hasta territorios de Macas, Chaco y Cuyuja en asociación con CARE- Ecuador, a través de las redes agroecológicas existentes y emprendimientos.

Del 2010 al 2012, en la provincia de El Oro, el MAGAP – Escuelas de la Revolución Agraria (ERA's) capacitó a productores y asociaciones interesados en biodigestores, de los cuales algunos implementaron biodigestores con autofinanciamiento.

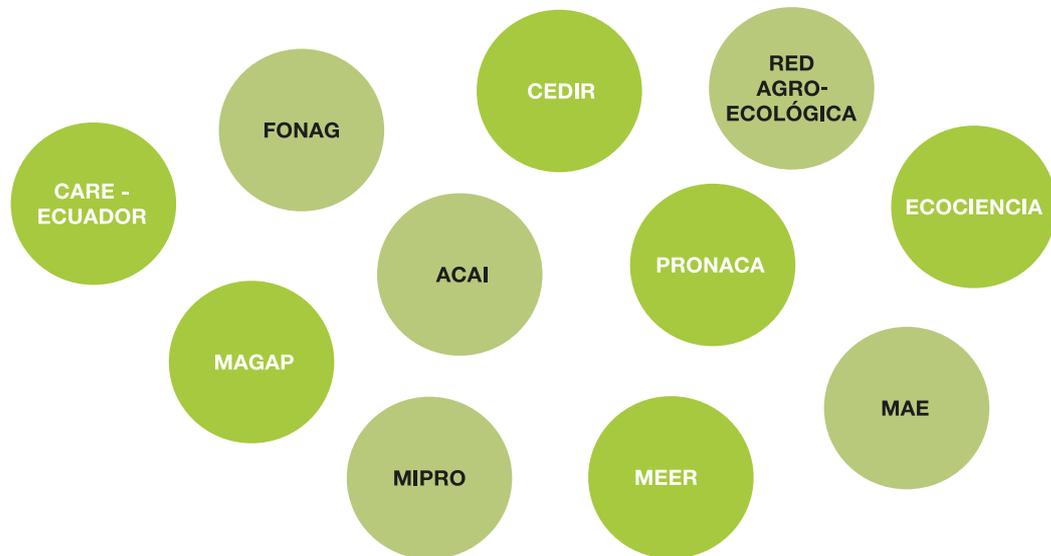


Ilustración 19. Actores involucrados en biodigestores. / Fuente: Pelaez *et al.*, 2015

En Ecuador, el sector público y privado han intervenido para realizar diferentes proyectos de biodigestores. Existieron los esfuerzos de ACAI ya mencionados; además, se rescató la presencia de sistemas de biodigestores de laguna cubierta, los cuales se describirán más adelante, en empresas agrícolas como Producción Nacional de Alimentos C.A. (PRONACA) en la provincia de Santo Domingo.

Las instalaciones ya realizadas anteriormente han permitido tener experiencias que están siendo compartidas en diferentes sitios del Ecuador para lograr difundir la tecnología. Si bien es cierto es una alternativa poco conocida y empleada en el territorio nacional, uno de los talleres realizados en los últimos años fue en 2012, donde la CEA y la ACAI difundieron sus experiencias en el Ecuador.

3.1 Situación actual de los biodigestores

Después de varios intentos para expandir la tecnología, en la provincia de El Oro se están implementando biodigestores de plástico y geomembrana PVC en granjas porcícolas. El Oro ha sido una de las provincias más abiertas a acoger esta tecnología para el tratamiento de residuos, a pesar de existir granjas que han descartado la opción pues alimentan a su ganado con alimentos balanceados, y por ende no tienen cultivos en los cuales emplear el biol.

Actualmente, se han sumado algunos actores para la implementación de biodigestores en el país. Entidades públicas como el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), Ministerio de Industrias y Productividad (MIPRO), Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) y el Ministerio de Ambiente (MAE), se encuentran en la etapa de diseño o implementación de proyectos que integran a familias y productores para el uso de biodigestores.

El biodigestor más usado en Ecuador es el tubular, del cual se han adaptado en el país dos modelos. El primero, es el modelo Intag, el cual es tubular, de plástico, y sigue los diseños del Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV) en Colombia; lo característico de este modelo son sus entradas y salidas de tuberías de PVC sobre las que se amarra el plástico, sustituyendo así las entradas y salidas fijas fabricadas en ladrillo u hormigón. Además, su tamaño es estandarizado. Por otro, el modelo más extendido en El Oro tiene las mismas características mostradas anteriormente, pero las entradas y salidas se hacen a partir de baldes por cuyo interior se mete el plástico; este modelo no está estandarizado en tamaño y se han adaptado sus dimensiones a las condiciones específicas de cada lugar. En ambos casos, “Modelo implementado en Intag” y “Modelo implementado en El Oro”, se nota como tendencia la prefabricación de los biodigestores con geomembrana de PVC, aumentando su durabilidad pese al incremento de costos de implementación.

Adicionalmente, se nota el interés de las universidades, y facultades de agronomía, en donde existe personal docente/ investigador que ya está abordando estos temas con un enfoque de I+D.

3.2 Proyección Futura de los Biodigestores en Ecuador

En vista que los biodigestores han sido una gran alternativa para el tratamiento de residuos, diferentes instituciones consideran que el futuro de esta tecnología en el país podría ser el siguiente:

Los biodigestores de bajo costo serán una gran medida de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) al reducir la emisión a la atmósfera de uno de los GEI responsables del calentamiento global: el metano (CH₄). Y, al mismo tiempo, es una tecnología que por su bajo costo de implementación tiene un retorno de inversión temprano, motivando así al productor a implementarlas.

El Programa de Cocción Eficiente lanzado por el Gobierno ecuatoriano incentiva el uso de las cocinas de inducción a través de electricidad; este programa, podría ser una oportunidad para difundir el uso de biogás como una alternativa paralela para productores agropecuarios.

La creación de una red nacional de biodigestores que integre a los diferentes sectores y fomente la masificación de la tecnología, capacitaciones, e incentive el establecimiento de criterios de calidad, sistemas de garantía, etc.





Proyecto GENCAPER, biodigestor instalado en granja porcina Piñas - Ecuador, 2015

4

DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DE FLUJO CONTINUO

La presente sección se enfoca en el diseño de biodigestores tubulares. Para el diseño, es fundamental entender que la carga del biodigestor (mezcla de agua y estiércol) ingresa por un extremo, y debe cruzar todo el largo del biodigestor para alcanzar la salida, siendo el tiempo que tarda para ello el llamado “Tiempo de Retención”(TRH); el cual, debe ser el suficiente para la completa digestión anaerobia, permitiendo así el máximo beneficio de los biodigestores (biogás y biol de calidad). Es importante que, al menos inicialmente, los residuos contengan microorganismos como los existentes en estiércol fresco.



Ilustración 20. Instalación de un biodigestor tubular en Las Lajas, provincia de El Oro / Fuente: Parra, 2010

Como primer paso, antes de diseñar el biodigestor es fundamental que se determine con el productor, cuales son sus necesidades principales, y por ende sus prioridades en cuanto a los productos del biodigestor, las cuales podrían ser:

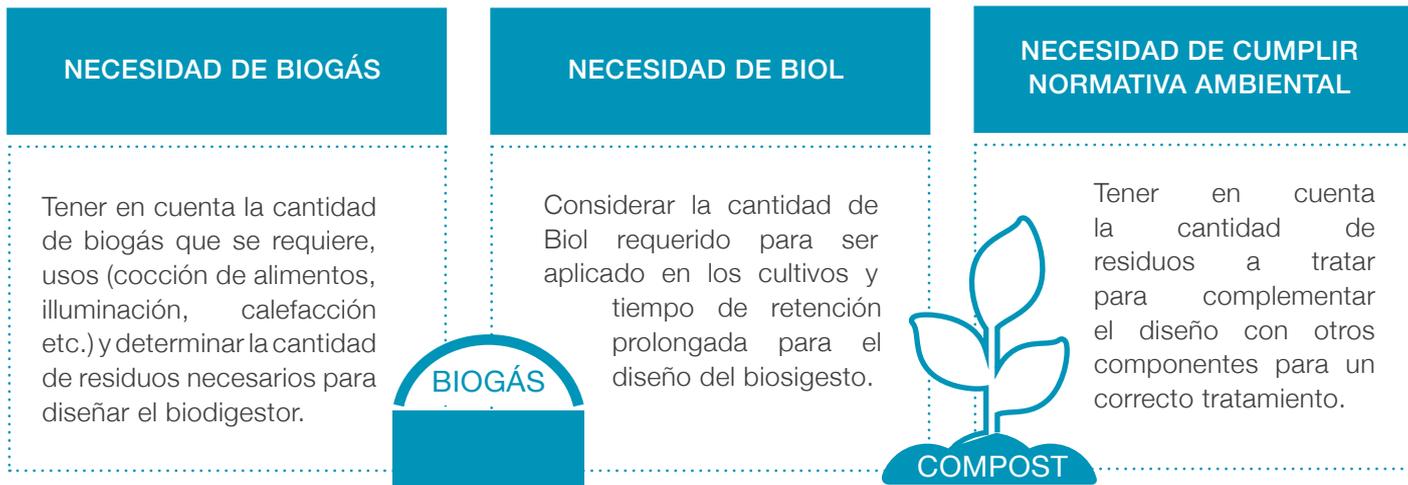


Ilustración 21. Posibles necesidades de la finca / Fuente: Martí-Herrero, 2008

Posterior a definirse las necesidades principales del productor, se deben hacer cálculos que nos permitan determinar si la producción de biogás y biol podrán satisfacer por completo las necesidades del productor.

Ejemplo: Una familia comprendida por cinco personas, quienes requieren de biogás. Para saber el consumo de gas que demandan y requerimiento de combustible se realizarán los siguientes cálculos.

Tabla 8. Aproximado de necesidades diarias de biogás para una familia de cinco miembros:

Necesidad	m ³ Biogás	Necesidad de biogás	Opciones de animales necesarios para producir 5,05 m ³ /día
Cocinar (5 horas)	Cocinar (5 horas)	1,50 m ³ /día	13 Bovinos (127 kg estiércol/día *) o 39 porcinos (85 kg estiércol /día) o 366 aves (65 kg estiércol/día)
3 Lámparas (3 horas)	0,15 x 3 x 3	1,35 m ³ /día	
1 Refrigerador medio	2,20 m ³ /h x 1 h	2,20 m ³ /día	
TOTAL		5,05 m³ /día	

Fuente: Manual Biogás, 2001 *Solo cantidad que se puede recoger en los establos

4.1 Consideraciones generales para implementación de biodigestores

Para implementar un biodigestor es necesario tener claro ciertos aspectos que se deben evaluar en campo y oficina, así tenemos:

- Tiempo dedicado actualmente al manejo de animales.
- Disponibilidad de estiércol, agua, desechos, transporte y energía.
- Área disponible para el biodigestor y sus productos.
- Definir y priorizar beneficios: tratamiento de desechos, energía o fertilizante.
- Asegurar capacitación al beneficiario en teoría y práctica (operación y mantenimiento del biodigestor).
- Disponer de asesoría y acompañamiento post-instalación al beneficiario.
- Aprovechar la asociatividad existente: asociaciones agroproductivas, comunas, juntas de riego, etc. para difundir la tecnología.

4.2 Perfil de un potencial usuario

Es importante que el futuro beneficiario cuente con las siguientes características:

- Productor convencido y comprometido a invertir tiempo y/o recursos en su manejo.
- Productor informado y educado sobre biodigestores (operación, beneficios, otros.)

4.3 Criterios a considerarse para la implementación de biodigestores en campo

a) Terreno

- Espacio suficiente para la implementación y protección del biodigestor.
- Espacio para implementar por debajo del nivel de los corrales/ establos, para que los residuos orgánicos puedan llegar al biodigestor por gravedad cada vez que se laven los corrales/ establos.
- La pendiente debe permitir que las aguas residuales (lavado de corrales) lleguen por gravedad. Si no hay pendiente, la carga se hará manual, aumentando la carga de trabajo.
- Como el biodigestor va semienterrado procurar que la zanja este en buenas condiciones esto es; libre de raíces y piedras u algún otro material que pueda provocar daños en el plástico o geomembrana.

- Productor dispuesto a recibir visitantes interesados y a compartirles información.
- Usuario con capacidad de afrontar los costos correspondientes a la implementación.



Ilustración 22. Protección de la zanja donde se albergará biodigestor / Fuente: Proyecto GENCAPER - MAE, 2015.

b) Sistema de evacuación de aguas residuales

- Debe ser fluido mediante tuberías o canales encementados hasta el biodigestor con el fin de que el productor no tenga que invertir tiempo en recolectar los estiércoles.
- Se debe evitar que las aguas lluvia de las cubiertas de los establos y corrales se descarguen sobre estas conducciones, pues de otro modo entrarían al biodigestor sobrecargándolo de agua.

c) Disponibilidad de agua

Es importante disponer suficiente agua para cargar el volumen líquido del biodigestor al momento de la instalación del mismo y para el lavado de los corrales pues debe haber una buena dilución de estiércol. Por ejemplo, en cerdos es recomendable una dilución de cuatro partes de agua por una parte de estiércol, y en bovinos es una dilución de tres partes de agua por una parte de estiércol. La escasez de agua debe ser menor a dos meses o se debe tener la posibilidad de usar suero u otros en su lugar.

d) Disposición del efluente (Biol)

Se debe considerar que se producirá tanto biol como carga se haga al biodigestor y por lo tanto hay que considerar su uso en un componente agrícola o forestal de la finca.

e) Conducción del biogás

En climas tropicales se puede comenzar a usar el biogás a los 30 días de haber sido cargado el biodigestor por primera vez. En climas más fríos la primera producción de biogás puede demorar hasta dos meses. Pero una vez que se inicia el proceso, si se sigue alimentando el biodigestor, la producción de biogás no cesará.



Ilustración 23. Reservorio de geomembrana. Proyecto GENCAPER - MAE, 2015.

- Si el sitio donde se usará el biogás estuviese a más de 100 metros del biodigestor, se recomienda usar tuberías con diámetro mayor a una pulgada, también se puede almacenar el biogás en reservorios que ayudan a darle mayor presión al biogás cuando es necesario.
- Se puede usar manguera politubo, tuberías y accesorios de pvc para conducir el biogás.



Ilustración 24. Conducción del biogás con manguera politubo de una pulgada de diámetro para su uso doméstico.

/ Fuente: Parra, 2012

f) Zanja

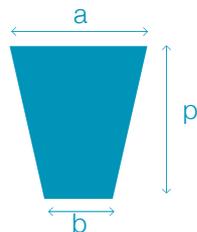
- El tamaño de zanja depende de la circunferencia del plástico tubular que se vaya a usar (Tabla 9), para asegurar que el tamaño de la cúpula donde se almacena el biogás sea correcto, y aprovechar al máximo el volumen útil que albergará la mezcla de estiércoles y agua. Si la cúpula ocupa más del 25% del volumen, resta espacio a la fase líquida y el tiempo de retención disminuye (Martí-Herrero, 2008).
- Como el biodigestor va semienterrado la zanja debe estar nivelada a lo largo de la base del biodigestor y tener forma de trapecio, siendo el ancho en el fondo menor al ancho superior, de modo que las paredes quedan inclinadas y se evita el derrumbe de las mismas.

- En las paredes y suelo de la zanja no deben haber raíces o piedras que puedan dañar el material. Se recomienda cubrir la zanja por dentro con saquillo o geotextil para proteger de mejor maneja al biodigestor.
- Una vez esté la zanja lista, se debe cavar un canal inclinado 45° grados en cada extremo para colocar posteriormente la entrada y salida del biodigestor.
- En climas frío y templados se puede mejorar el funcionamiento del biodigestor forrando la zanja con aislante como espumaflex.

La sección eficaz está dada en metros cuadrados y es el área de la zanja recomendada para las dimensiones del plástico o geomembrana

$$\text{Sección Eficaz} = \left(\frac{a + b}{2} \right) \times p$$

a: ancho mayor (m)
 b: ancho menor (m)
 p: profundidad (m)



A continuación, se aprecia el perfil frontal (corte B) y la forma de la zanja donde irá el biodigestor (corte A), también se observa las zanjas inclinadas en cada extremo para ubicación de las tuberías de entrada y salida.

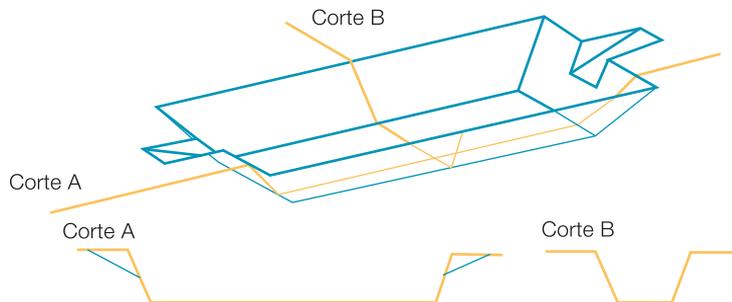


Ilustración 25. Excavación de la zanja para el biodigestor / Fuente: Martí, 2008.

Tabla 9. Dimensiones óptimas para zanjas de biodigestores de bajo costo (LDPE, HDPE Y PVC)

Ancho de rollo (m)	Circunferencia (m)	Radio (m)	Ancho mayor (m)	Ancho menor (m)	Profundidad (m)	Sección eficaz (m)
1	2	0,32	0,52	0,39	0,49	0,22
1,25	2,5	0,4	0,65	0,49	0,61	0,35
1,50	3	0,48	0,78	0,58	0,73	0,50
1,75	3,5	0,56	0,91	0,68	0,86	0,68
2	4	0,64	1,04	0,78	0,98	0,89
2,5	5	0,8	1,3	0,97	1,22	1,38
4	8	1,27	2,08	1,56	1,96	3,57
3,5	7	1,11	1,82	1,36	1,71	2,72
7	14	2,23	3,63	2,73	3,43	10,91
0,7	1,4	0,22	0,36	0,27	0,34	0,11
1,4	2,8	0,45	0,73	0,55	0,69	0,44
2,1	4,2	0,67	1,09	0,82	1,03	0,98
2,8	5,6	0,89	1,45	1,09	1,37	1,74

Fuente: Martí-Herrero y Cipriano, 2012.

4.4 Disponibilidad de residuos

Es importante conocer la cantidad de desechos disponibles para implementar un sistema de biodigestión; dichos residuos deben ser suficientes a diarios o su equivalente cada 2 o 3 días. El tamaño del biodigestor se diseña en función de los residuos o materia que alimentará el biodigestor.

a) Tipos de residuos según su origen

Existen varios desechos según las diferentes industrias que dejan a través o al final del ciclo de producción. Entre los desechos más comunes de la industria alimenticia se tienen los siguientes:



Ilustración 26. Residuos según actividad Industrial

TÓMESE EN CUENTA

La digestión de los cerdos es ineficiente y por ende, en el estiércol quedan restos del grano no digerido. Por tanto las aguas de lavado deberían pasar por un “separador de sólidos”

GANADO BOVINO DE ORDEÑO

- Estiércol
- Aguas de lavado de: sala de espera, ordeño, fosa, y maquinaria



SECTOR CAFÉ

- Aguas de la desmulagación
- Aguas del lavado del café posterior al desmucilaginado
- Aguas de desarte de la pileta de recirculación



GRANJAS AVÍCOLAS

- Cuerpos troceados de las aves muertas con un poco de gallinaza y melaza y llevados a compostaje 40 días



GRANJAS PORCÍCOLAS

- Aguas de lavado de los corrales (contiene la mayoría de estiércol en los corrales)



Ilustración 27. Residuos según actividad agropecuaria

CONSIDERE

Desechos como sangre, suero, aguas residuales, aguas industriales (beneficio de café, procesamiento de alimentos, etc.) pueden ser más problemáticos y variantes, por lo que se sugiere enviar a laboratorio muestras para una buena toma de decisiones y se requiere de diseños específicos para los biodigestores.



Con los residuos se puede aprovechar para hacer compost, lombricultura y producción de fertilizantes. Sin embargo, si se utilizan en biodigestores se obtiene biol como fertilizante y biogas para cocina, calefacción de lechones entre otros.

b) Cantidad de estiércol necesaria según origen:

Una vez se sabe con claridad la cantidad de estiércol disponible (en caso de que el residuo a usar sea estiércol), se puede proceder con el diseño del biodigestor para identificar el potencial de biogás que se va a obtener. En el caso del ganado bovino se debe considerar su propósito (leche, carne o ambas) y si está estabulada o si se puede recoger el estiércol, para conocer la cantidad disponible. Para cuantificar el estiércol fresco diario disponible se puede calcular en base a la Tabla 10:

Tabla 10. Producción de estiércol fresco diario promedio

Ganado / humano	Kg de estiércol fresco producido por cada 100 kg de peso animal
Cerdo	4
Bovino	8
Caprino	4
Conejos	3
Equino	7
Humano adulto	0,4 kg por adulto
Humano niño	0,2 kg por niño

Fuente: Martí-Herrero, 2008.

c) Producción de biogás según residuo utilizado

Cada tipo de estiércol tiene un potencial de producción de biogás diferente. Normalmente la dieta y el tipo de digestión (monogástrica o poligástrica) de los animales determinan este potencial.

Es posible hacer biodigestores que aprovechen residuos vegetales; sin embargo, para iniciar es necesario un sustrato vivo con bacterias como estiércol. En el caso de residuos vegetales que tienen mucha fibra se requieren diseños específicos (ver tablas en siguiente página).



Ilustración 28. Lavado de corral en un establo bovino. / Fuente: Parra, 2011

Tabla 11. Producción de biogás por residuo animal

Tipo de animal con un peso vivo referencial	Disponibilidad kg/día*	Relación c/n	Volumen de biogás	
			m ³ /kg húmedo	M ³ /día
Bovinos (500 kg)	10,00**	25:1	0,04	0,400
Porcinos (500 kg)	2,25	13:1	0,06	0,135
Aves (500 kg)	0,18	19:1	0,08	0,014
Ovinos (500 kg)	1,50	35:1	0,05	0,075
Caprinos (500 kg)	2,00	40:1	0,05	0,100
Equinos (500 kg)	10,00	50:1	0,04	0,400
Conejos (500 kg)	0,35	13:1	0,06	0,021

Fuente: MINENERGÍA, 2011

* Se refiere a la cantidad de estiércol posible de recolectar de todo el producto

** En el caso de los bovinos que pasan en establos, solo está disponible el 25% del estiércol para el biodigestor. Por ende de los 40kg de estiércol diario de un bovino de 500 kg de PV, solo 10kg son aprovechados en el biodigestor.

Tabla 12. Producción de biogás por residuo vegetal

Residuos	Cantidad residuo t/ha	Relación c/n	Volumen de biogás	
			m3/t	m3/ha
Cereales (paja)				
Trigo	3,3	123:1	367	1200
Trigo	6,4	45:1	514	3300
Cebada	3,6	95:1	388	1400
Arroz	4,0	58:1	352	1400
Tubérculo (hojas)				
Papas	10,0	20:1	606	6000
Betarragas	12,0	23:1	501	6000
Leguminosas (paja)				
Porotos	3,2	38:1	518	1650
Habas	4,0	29:1	608	1400
Hortalizas (hojas)				
Tomate	5,5	12:1	603	3300
Cebolla	7,0	15:1	514	3600

Fuente: MINENERGÍA, 2011

Según los animales existentes en la granja se pueden hacer diferentes combinaciones de residuos, un ejemplo a continuación:

EJEMPLO:

Tabla 13. Posibles combinaciones de estiércol

Nro. Animales	kg estiércol/día	Biogás m ³ /día	Biogás m ³ /kg
2 Bovinos	20	0,80	0,08
20 Porcinos	45	2,40	1,20
250 Aves	45	2,50	10,00
Total	110 kg/día	5,70 m³/día	11,28 m³/kg

Fuente: MINENERGÍA, 2011

d) Concentración de nutrientes según el tipo de residuo

Es importante mencionar los porcentajes de nutrientes según el tipo de materia prima que alimenta al biodigestor, puesto que ellos formarán parte del biol que el productor podrá usar como fertilizante en sus cultivos.

A continuación se muestra el contenido de nutrientes por residuo:

Tabla 14. Concentración de nutrientes según origen de estiércol

Materia prima (estiércol)	N (%)	Promedio N (%)	P ₂ O ₅ (%)	Promedio P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)
Bovino	0,3-2,0	1,15	0,1 – 1,5	0,8	0,10
Porcino	1,1 -2,5	1,8	0,4 - 4,6	2,5	0,30
Caprino	1,0 -2,0	1,5	0,2 -1,5	0,85	2,30
Equino	0,3 -0,8	0,55	0,4 -1,6	1,0	0,35
Ovino	0,2 -0,6	0,45	0,3 -1,0	0,65	0,15
Conejos	1,0 -1,9	1,45	0,9 -1,8	1,35	2,10
Aves	1,4- 2,0	1,7	2,0 -2,8	2,4	1,40
Patos	0,6 -0,8	0,7	1,0 – 1,5	1,25	0,40
Pavos	0,6-0,8	0,7	0,5 -0,8	0,65	1,10
Humanas	0,8 – 1,0	0,9	0,5	0,5	0,30

Fuente: MINENERGÍA, 2011



Usos del Biol



TÓMESE EN CUENTA

Una vez que esté en funcionamiento el biodigestor para terminar el cumplimiento de la normativa ambiental de la descarga de efluentes es necesario analizar este líquido para verificar su cumplimiento o caso contrario se debe realizar un post tratamiento.

Usos de Biogás

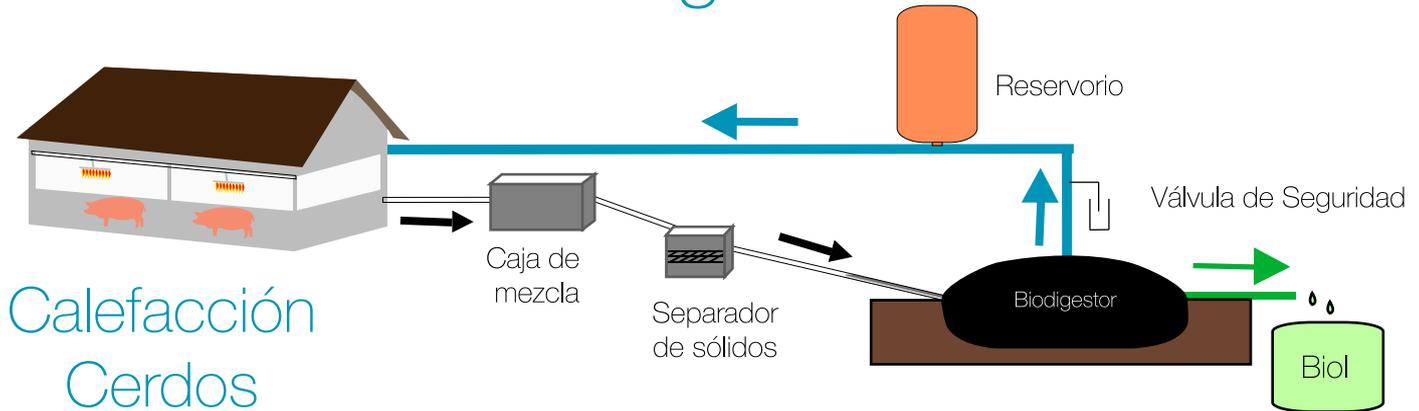


Ilustración 29. Ejemplo de sistema de biodigestión implementado en granja porcina

5

MANTENIMIENTO DEL BIODIGESTOR



Ilustración 30. Proceso de instalación de un biodigestor en el cantón Huaquillas. Prov. El Oro / Fuente: Parra,2015

Es importante realizar un mantenimiento periódico del sistema de biodigestión para brindar una mayor durabilidad y obtener los beneficios sin complicaciones. Cabe recalcar que el mantenimiento del sistema es bastante sencillo y no es necesario tener formación técnica para poder hacerlo. A continuación, se presenta las principales actividades de mantenimiento de un biodigestor:

5.1 Revisión de la protección externa del biodigestor

Es importante conocer la cantidad de desechos disponibles para implementar un sistema de biodigestión. Posterior a la instalación del biodigestor se cerca el perímetro y se coloca una cubierta a lo largo del sistema, con el objetivo de evitar la entrada de aves de corral, animales de la finca, roedores puedan ingresar y provocar daños en el material del biodigestor. Los materiales que se pueden usar pueden ser económicos y en muchos de los casos utilizar materiales propios de la finca (caña guadúa, hojas de palma, etc.) lo importante es tener una estructura firme y compacta.



Ilustración 31. Protección externa de un biodigestor. Proyecto GENCAPER - MAE, 2015

5.2 Revisión de la válvula de seguridad

El mantenimiento de la válvula es de suma importancia. En la conducción del biogás, después del biodigestor, está ubicada la válvula de seguridad, la cual comprende una botella de plástico en donde se introduce un pedazo de tubería que va conectada a una “T” de PVC del conducto que transporta el biogás.

La botella de plástico contiene agua y la tubería debe quedar sumergida entre 8 a 13 cm, dependiendo de la altura sobre el nivel del mar del lugar, la distancia a la cocina, y el tipo de cocina. A mayor altura, mayor presión es necesaria y la tubería debe estar más sumergida. De la misma manera, a mayor distancia de la cocina, mayor presión se necesita y más sumergida ha de estar la tubería. Normalmente, se coloca una llave de paso después de la válvula de seguridad para realizar la conducción del biogás a través de tuberías o mangueras.

Nótese que, por ningún motivo se debe colocar una llave de paso antes de la válvula de seguridad porque si la misma permaneciera cerrada por descuido o mala intención, el biogás que se produce en el biodigestor no tendrá forma de escapar y la cámara de digestión se podría reventar.

5.2.1 Revisión del filtro de ácido sulfhídrico (H₂S)

Una pequeña proporción del biogás está constituida por ácido sulfhídrico (H₂S), 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 virutas de hierro, estropajo de acero (usado para lavar ollas) u óxido férrico (Fe₂O₃) (que reacciona con el H₂S para formar sulfuro de hierro FeS₂ y agua H₂O) (Forget, 2011).

Normalmente este filtro para ácido sulfhídrico puede ser colocado después de la válvula de seguridad y antes del uso final del biogás.

Para colocar este filtro se puede utilizar uniones universales de PVC, pedazos o neoplos de tubería, etc. Para determinar cuándo es necesario cambiar este material por mantenimiento, se debe revisar que tan acelerada está la corrosión del mismo o bien fijarse si existe un olor desagradable en el biogás. En general se recomienda que cada 6 meses se cambien los estropajos de acero o virutas de hierro.

5.2.2 Revisión de la acumulación de agua en las tuberías

El biogás es una combinación de varios gases y vapor de agua, como ya se ha comentado. El vapor de agua puede condensarse volviéndose líquido, y puede llegar a acumularse en los puntos bajos de las tuberías de conducción de biogás, impidiendo que el biogás fluya. Este problema suele presentarse cuando existen puntos bajos en las tuberías o cuando va enterrada la tubería (no es aconsejable). Para dar solución a este problema se pueden realizar las siguientes acciones: templar o fijar bien las mangueras o tuberías de conducción de biogás evitando quiebres en forma de “U”; en algunos casos en estos puntos bajos o quiebres se puede colocar una “T” de PVC, en la cual se deberá colocar en su tercera salida un tapón o llave, y cada cierto tiempo quitar el mismo para sacar el agua acumulada presente en el biogás.

5.3 Agitación

En algunos casos se ha suscitado la formación de una costra en la superficie líquida del biodigestor. En este caso, es recomendable romperla manualmente mediante agitación desde la superficie y costado del biodigestor, lo cual generará movimiento a través del biodigestor (como un masaje). Es posible también, colocar agitadores a lo largo del sistema, los cuales constan de una cuerda con galones o discos de plástico para remover las costras en la superficie de la fase líquida dentro del biodigestor. Estos agitadores se deben colocar al momento de la instalación ya que van por el interior del biodigestor.



Ilustración 32. Biodigestor en granja porcina. Proyecto GENCAPER - MAE, 2015

5.4 Posibles problemas y soluciones

Tabla 15. Problemas y soluciones de un sistema de biodigestión

Problemas	Soluciones / información
Poco gas en el reservorio y reactor	Posible fuga por válvula de seguridad por falta de agua o fuga de biodigestor o conducción de biogás. Revisar si el plástico o geomembrana no tiene orificios por donde escape biogás.
No llega gas a la cocina	Abrir llave para purgar agua de tubería del biogás o fuga de biodigestor o conducción de biogás.
El biol tiene nata o capa dura en la superficie	Mezclar mejor el estiércol y agua antes de ingresarlos al biodigestor (que la mezcla que ingrese esté bastante líquida)
Poca presión de gas en la cocina	Aumente la presión apretando el reservorio con una soga o poniendo un peso encima.
No está produciéndose biogás	Se usó estiércol de bovinos, porcinos recién vacunados o con antibióticos. Se debe suspender el uso de dicho estiércol y seguir cargando solo con el de animales sanos.
Biodigestor produce biogás, sin embargo, al reservorio llega poco.	Tubería doblada en algún punto o con acumulación de agua o fuga de biodigestor o conducción de biogás.

Consejos Útiles



- El primer llenado del biodigestor debe hacerse con gran cantidad de agua, hasta completar su fase líquida mínima requerida, es decir hasta que la tuberías de entrada y salida quedan cubiertas por el agua en el interior del biodigestor, de modo que se produce un sello de agua, que ya no dejará escapar el biogás que se genere. El llenado de la fase líquida puede hacerse en primera instancia solo con agua o a su vez con mezcla de estiércol y agua.
- No llenar la fase líquida si el biodigestor no está bien inflado con aire, pues de otro modo puede quedar el biodigestor con arrugas. Al inflarlo con aire previo a la primera carga se asegura la buena colocación del biodigestor en la zanja. Se recomienda que posterior a la instalación lo más pronto se complete la fase líquida del biodigestor.
- Si no se llena una temporada el biodigestor, cada día irá produciendo menos biogás. Finalmente en algunas semanas dejará de tener biogás. Un biodigestor que ya no produce biogás por no haberse cargado, puede recuperar simplemente volviéndolo a cargar con frecuencia, pero demorará unas semanas en reiniciar la digestión anaerobia.
- No aplicar el biol en aspersión en cultivos que serán consumidos frescos o cosechados en menos de una semana (riesgo de contaminación con patógenos).
- Lavar siempre bien el producto vegetal tras la cosecha.
- En sitios muy fríos, proteger el biodigestor con “Invernadero” plástico sostenido en muros de adobe, para guardar el calor, y usar aislante (espuma Flex) en las paredes y fondo de zanja antes de la instalación del biodigestor. La carpa debe cuidarse y tensarse para que soporte el sol y efecto del viento.
- Si se carga el biodigestor demasiado, en pocas semanas dejará de funcionar y no producirá biogás, ya que habrá reducido el TRH (Tiempo de Retención Hidráulica), y el estiércol no estará suficiente tiempo en el interior del biodigestor como para que las bacterias puedan convertirlo en biogás y biol.
- El biodigestor no debe dejar de funcionar, debe alimentarlo al menos un poco para mantenerlo vivo, ya sea poca cantidad todos los días, o cargas semanales.
- No alimentar al biodigestor con estiércol de animales que estén bajo tratamiento de antibióticos.

5.5 Seguimiento Post-instalación

Esta actividad es importante porque se revisan los trabajos realizados y se verifica el correcto funcionamiento, y en caso de existir inconvenientes se pueden hacer las modificaciones necesarias. En el Ecuador, por la poca difusión y conocimiento de los biodigestores y limitada asistencia técnica especializada, se recomienda hacer una serie de visitas post-instalación para asegurar su normal funcionamiento:

A los ocho días de instalación:

En este momento el biodigestor todavía no produce biogás, pero la visita sirve para asegurar que todo está bien instalado, que el usuario conoce el manejo y mantenimiento del sistema, y que el biodigestor está protegido. Aquí revisamos todos los componentes del biodigestor, separador de sólidos, etc., realizamos preguntas al productor para saber cómo está realizando el lavado de los corrales y se va brindando soluciones para mejorar en el manejo. Conviene recordar al usuario en esta visita las actividades de manteniendo necesarias, la relación agua estiércol de la carga, y resolver dudas.

A los quince días de instalación:

El biodigestor puede empezar a acumular biogás en su cúpula, pero seguramente todavía no sea combustible. Volvemos a visitar el biodigestor para revisión de sus componentes, alimentación del biodigestor, dialogar con el propietario para aclarar inquietudes que se le hayan presentado y planificar la instalación de reservorios de biogás si así lo requiere.

A los 45 - 60 días de instalación:

En esta visita el biodigestor se espera que ya esté generando biogás y biol, si es que se ha cargado de forma diaria. Revisar todos los componentes, evaluar la apropiación del productor con el biodigestor, recopilar sus inquietudes y realizar la instalación de reservorios de biogás con las respectivas tuberías o mangueras de conducción. Aquí también se hace una evaluación de la aplicación del biol en el componente agrícola y del uso del biogás. Lo importante es que el productor aproveche todos los beneficios del biodigestor. En esta visita es cuando se instalaría el reservorio de biogás.

A los 90 – 120 días de instalación:

Contacto telefónico para monitoreo del proyecto mediante una conversación amena con el productor.

Después de los 120 días de instalación:

Monitoreo mediante llamadas telefónicas para conocer cómo está el sistema y el nivel de empoderamiento del productor.

Dependiendo de los resultados se planifica una visita técnica de inspección.



Ilustración 33. Visita de inspección mayor a los 120 días de instalación del biodigestor / Fuente: Parra, 2013

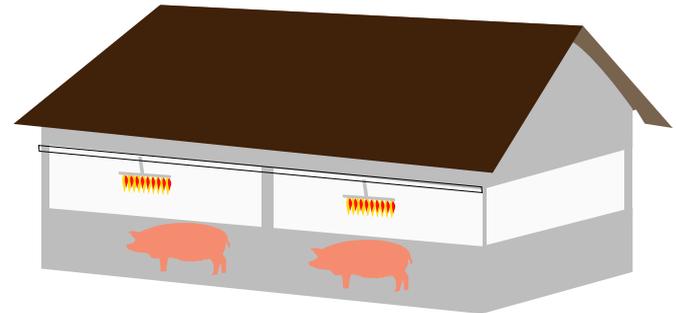
6

ESTUDIO DE CASO EN GRANJA PORCÍCOLA

Una granja perteneciente al señor Pérez tiene un negocio de venta de cerdos destetados para engorde. Además posee cultivos de cacao y ciclo corto con una altitud de 275 msnm y temperatura promedio de 25°C. La finca cuenta con 15 madres de 250 Kg de peso vivo, 3 chanchillas de 80 kg de peso vivo, 100 cerdos en levante (crecimiento) de 80 kg de peso vivo y un verraco de 350 kg de peso vivo.

Todos los días lava los corrales y el agua para lavado es almacenada en tanques plásticos. Según el aforo realizado utiliza 1,5 m³ de agua/día. El propietario planea aumentar cinco madres y tener máximo 100 cerdos.

Las aguas residuales son captadas en una caja de mezcla, hecha de cemento, y son conducidas a vertederos cercanos a la finca porque el pozo séptico se llenó en su capacidad hace meses. Existe un área de terreno disponible para un biodigestor y el dueño desea dejar de contaminar. Dado que le han informado que el biodigestor suministra biol y biogás, el propietario está interesado en implementar el biodigestor y realizar los trámites correspondientes.



6.1 Diseño

En primer lugar, se define las necesidades y beneficios más importantes para el productor. En este caso son: el cumplimiento de la normativa ambiental y usos de los productos del biodigestor (biol y biogás).

Tabla 16. Categoría de la granja en UPOA's

Categoría etaria	Nro. Cerdos en la granja	Equivalencia en UPOA's	Nro. UPOA's en granja
Madres reproductoras	15 (se considera el aumento futuro de cerdos)	0,8	12
Verraco	1	1	1
Chanchilla	3	0,6	1,8
Levante	100 (considerando su máxima capacidad)	0,6	60
Total	119		74,8

* Las equivalencias en Unidades Productivas Agropecuarias (UPOA's) (Anexo 1)

Según la Tabla 16, el propietario cuenta con 119 cerdos que son 75 UPOA's, según la clasificación de granjas está en la categoría de Granja Comercial Pequeño (Ver anexo 2).

6.2 Cuantificación de la cantidad de estiércol producido

Es necesario primero conocer la cantidad de estiércol producido por los 119 animales y el peso vivo (PV) total que suman. Se espera la producción diaria de 4 kg de estiércol por cada 100 kg de peso vivo. En base a esta información se obtiene la producción de estiércol total diaria.

a) Multiplicar el número de animales por su peso en kg para cuantificar el peso por categoría de animal.

Tabla 17. Peso por categoría de animal

Categoría etaria	Nro. De animales	Peso vivo (kg)	Peso total (kg)
Madres reproductoras	15	250	3750
Verraco	1	350	350
Chanchilla	3	80	240
Levante	100	80	8000
Total			12340

b) Multiplicar el peso total de los animales por 0,04 que corresponde a 4kg de estiércol fresco diario por cada 100 kg de peso vivo (PV).

$$12340 \text{ kg PV} \times (4 \text{ kg estiércol}/100 \text{ kg PV}) = 494 \text{ kg de estiércol fresco}$$

6.3 Determinar el volumen de aguas residuales generadas por día (carga diaria)

- Cantidad de agua utilizada para lavado: 1500 litros de agua (Para saber que se cumple con ésta cantidad, se deberá utilizar un tanque de plástico o cemento de capacidad conocida en litros, el cual será llenado al inicio de cada día con los 1500 litros. De esta manera el productor se asegurará de no usar más de esa cantidad diaria).
- Al trabajar con estiércol de cerdo en biodigestores se recomienda una mezcla de agua- estiércol de 4:1.
- Por lo tanto, si se tienen 494 kg de estiércol diario, la cantidad de agua óptima para mezclar cada día con el estiércol, será de: 1976 litros de agua.
- El productor usa actualmente 1500 litros diarios para lavar los corrales, y lo óptimo sería 1976 litros.
- Considerando que 1 kg equivale a 1 l, entonces:

$$1976 \frac{\text{l agua}}{\text{día}} + 494 \frac{\text{kg estiércol}}{\text{día}} = \frac{2470 \text{ kg carga}}{\text{día}}$$

6.4 Determinar el Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) y fase líquida del biodigestor

El tiempo de retención hidráulica (TRH), es el tiempo que permanecerá el estiércol en el interior del biodigestor hasta salir, y dependerá de la temperatura. Esta marca el ritmo de las bacterias que hacen el trabajo de transformar el estiércol en biogás y biol.

Tabla 18. TRH de estiércol de ganado en distintas regiones

TRH	Características
30 – 40 días	Clima tropical
40 – 60 días	Regiones cálidas con inviernos fríos cortos.
60- 90 días	Clima templado con inviernos fríos.

Fuente: Varnero, 1991.

TRH: Se utilizará 35 días promedio para el presente caso de estudio según la situación geográfica y de temperatura ambiente en la finca.

$$2,47 \text{ m}^3 \times 35 \text{ días} = 86,45 \text{ m}^3 \text{ de fase líquida del biodigestor}$$

Por lo tanto, para una carga diaria de $2,47 \text{ m}^3$, que tiene que permanecer en el biodigestor 35 días, se requiere que el biodigestor tenga un volumen líquido de $86,45 \text{ m}^3$

6.5 Cuantificar la cantidad de biol/día y biogás/día

Como es un biodigestor de flujo semi-continuo, el mismo volumen de carga diaria que ingresa al biodigestor saldrá en forma de biol. En este caso se obtiene $2,47 \text{ m}^3$ de biol diariamente al realizar las actividades de lavado correctamente.

Por otro lado, para estimar la cantidad de biogás que se producirá por día, se pueden usar unos valores de referencia que dependen del tipo de estiércol, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 19. Factor utilizado para la cuantificación de biogás/día/ kg estiércol

Ganado	Biogás/día/kg Estiércol Fresco Cargado Diariamente
Cerdo	51
Bovino	35,3

Fuente: Martí-Herrero, 2008.

De este modo al trabajar con estiércol de cerdo, se multiplicará la carga de estiércol diario por el factor de producción de biogás por kilo cargado de estiércol fresco:

$$494 \text{ kg estiércol} \times 51 \frac{\text{l de biogás}}{\text{kg estiércol}} = 25194 \frac{\text{l de biogás}}{\text{día}} = 25,19 \frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{\text{día}}$$

6.6 Determinar las dimensiones, largo del biodigestor y relación óptima

Conocido el volumen líquido, que es 86,45 m³ es necesario darle una forma. Se trabaja con formas tubulares donde el biodigestor estará semienterrado y su fase líquida tomará la forma de zanja. Esta tendrá forma de trapecio y sus dimensiones pueden variar de acuerdo al volumen total y la circunferencia de la manga de geomembrana que se vaya utilizar. Para mantener una forma tubular adecuada se recomienda que la relación entre la longitud (L) de la zanja (del biodigestor) y el diámetro (D) de la manga tubular este entre 5 y 10, a lo que se llama relación óptima (L/D).

$$\frac{L}{D} = \text{Debe ser de 5 a 10m. Lo óptimo es de 7,5m}$$

Para este caso, se recomienda utilizar polietileno de 1mm de espesor y preparar una zanja de las siguientes dimensiones (Martí-Herrero, et al., 2012):

Ancho superior: 2,08 m

Ancho inferior: 1,56 m

Profundidad: 1,96 m

Así, la sección eficaz de esta zanja será: 3,57 m²

$$\text{Profundidad} \times \frac{(\text{Ancho superior} + \text{ancho inferior})}{2} = 3,57 \text{ m}^2$$

Para lograr un volumen total de 86,45 m³ es necesario que la zanja, de sección 3,57 m², tenga una longitud de:

$$\text{Longitud} = \frac{\text{Volumen líquido}}{\text{Sección eficaz}} = 24\text{m}$$

No conviene biodigestores demasiado cortos ni largos y para ello se considera la relación óptima entre el diámetro y la longitud que es 7,5; y válida si se mantiene entre 5 y 10. Esto significa que dividiendo la longitud estimada entre el diámetro de la manga, habrá que seleccionar las dimensiones del biodigestor que más se acerquen a una relación de 7,5 (Martí-Herrero, 2008).

$$\text{Relación Óptima } \frac{L}{D} = \frac{24}{2,54} = 9,4$$

Por tanto se encuentra dentro del rango (5-10) de relación óptima para mantener la forma tubular, pero al estar cerca de 10, nos indica que es un biodigestor muy alargado.



Si la granja tiene un área para un biodigestor de 24 metros de largo estaría muy bien. ¿Y si no tiene? El señor Carlos Pérez (estudio de caso) podría instalar dos biodigestores paralelos de 12 metros de largo conectados en serie entre sí.



Ilustración 34. Instalación de un biodigestor.

A continuación, se presenta un cuadro con toda la información del biodigestor que se ha diseñado para el Sr. Carlos Pérez.

Tabla 20. Resumen de cálculos (Estudio de caso)

Parámetros para el diseño del sistema		Resultados				
Categoría de la granja		Comercial pequeño				
UPOA's		75				
Capacidad animal de la granja porcina		119 cerdos				
Peso Vivo Total		12340 kg				
Estiércol fresco diario		494 kg				
Agua de lavado de los corrales		1976 litros/día				
Carga diaria		2,47 m ³				
TRH		35 días				
Fase Liquida del biodigestor		86,45 m ³				
Producción de biol		2,47 m ³				
Producción de biogás		25,19 m ³				
Largo del biodigestor		24 m				
Ancho del rollo (m)	Circunferencia (m)	Dimensiones de la zanja				
		Ancho mayor (m)	Ancho menor (m)	Profundidad (m)	Sección eficaz (m ²)	Relación óptima
4	8	2,08	1,56	1,96	3,57	9,4

IMPORTANTE: La correcta mezcla de estiércol y agua; y la construcción de un separador de sólidos es importante para reducir la cantidad de partículas gruesas, como grano no digerido por los cerdos y que podría llegar a colmatar el biodigestor en pocos años.

6.7 Consideraciones prácticas:

El productor deberá analizar los costos de las bolsas (geomembrana PVC o plástico tubular de polietileno) y de los otros componentes que acompañan al biodigestor como son el separador de sólidos, caja de mezcla y tanque de recepción de efluente:

a) Opciones de materiales para la bolsa del biodigestor:

- Polietileno tubular: puede usarse de calibre 8, circunferencia de 4 m, y doble capa (una manga tubular dentro de otra obteniendo doble capa). Esta opción es recomendable en granjas familiares con pocos animales, cuando la fase líquida es menor a 10m³.
- Geomembrana de PVC de 500, 750 o 1000 micras de espesor: en este caso se requiere una empresa que garantice un buen trabajo en el termo sellado o alguna persona con experiencia. Su uso es recomendable en fases líquidas mayores a 10m³. Además, a diferencia del polietileno, permite manejar varios diámetros en el diseño tubular.

b) Alimentación

El biodigestor, para ser alimentado, requiere diferentes proporciones de mezcla de estiércol y agua según el residuo orgánico disponible.

Tabla 21. Requerimientos de agua para la preparación de la materia prima según estiércol.

Animales	Relación estiércol : agua (kg:l)
Aves	1:4
Conejos	1:5
Ovejas	1:5
Cabras	1:5
Cerdos	1:4
Caballos	1:5
Ganado Vacuno	1:3

Fuente: IRRI, 2014

7

BENEFICIOS ECONÓMICOS



Ilustración 35. Futuros beneficiarios de un sistema de biodigestión de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. Proyecto GENCAPER - MAE, 2015

En esta sección para mostrar el beneficio económico se utilizará el método para valoración monetaria, que parte de los costos evitados tal como describió Pearce (1993); Turner et al., (1994); Edwar-Jones (2000); Russell (2001) entre otros. De tal manera que:

- La valoración de producción de biogás y flujo de nutrientes se usa para estimar beneficios directos.
- El valor del biogás se estima según su capacidad de remplazo de otras fuentes de energía usadas en zonas rurales.
- El valor del efluente se calcula por el valor comercial de los nutrientes recolectados al final del proceso.

Para visualizar los beneficios económicos del estudio de caso del numeral 5, es importante considerar los siguientes datos:

Tabla 22. Datos importantes para calcular el beneficio

Carga de estiércol	kg/Día	kg/Año
Carga de estiércol diaria	494	180310
Carga de agua diaria	1976	721240
Nutrientes en Carga	kg/Día	kg/Año
Nitrógeno N (1,8%)	8,89	3254,6
Fósforo P ₂ O ₅ (2,5%)	12,35	4507,8
Potasio K ₂ O (0,3%)	1,48	540,9
Producción de Biogás		
Litros	25194	9195810
m ³	25,1	9195,8

En la Tabla 22 se ha calculado:

1. La cantidad de carga anual: carga diaria (Tabla 22) x 365
2. Producción de biogás anual: producción diaria (Tabla 22) x 365

3. La cantidad de nutrientes proviene de: carga diaria estiércol (kg) x el contenido de cada nutriente (%) (Tabla 14). Ejemplo:

$$494 \text{ kg} \times 1,8\% = 8,89 \text{ kg de nitrógeno}$$

Como se vio en la Tabla 20, el biodigestor de 24 m de largo, 86,45 m³ de fase líquida y 35 días de TRH, produce en su efluente una cantidad anual de 3245,6 kg de N, 4507,8 de P₂O₅, 540,9 de K₂O.

7.1 Ahorro por sustitución de combustibles convencionales por biogás

- a) Se determina el uso de la cantidad promedio mensual de combustible convencional y luego se calcula las cantidades anuales. En este caso, el productor usa aproximadamente 5 tanques de GLP de 15 kg al mes.
- b) Se multiplica las cantidades anuales por su valor comercial, siendo el resultado el gasto de la granja por año. Este valor es el que se ahorraría al remplazar los combustibles convencionales por biogás.

c) Se divide la cantidad anual del combustible convencional entre el coeficiente de equivalencia de energía (Tabla 23). De esta manera se determina la cantidad de biogás requerida para suplir a dicho tipo de combustible.

Tabla 23. Datos importantes para calcular el beneficio

Usando combustible convencional			Usando biogás como reemplazo			
Combustible convencional	(kg GPL) / mes*	(kg GPL) / año	Valor comercial (USD / KG gpl)	Valor ahorrado / año USD)	Biogás necesario / año (m ³)	Biogás necesario / año (l)
GLP con subsidio	75	900	0,2**	180	1800****	1800000
GLP Sin subsidio			1,33***	1197		

*5 tanques de GLP, de 15 kg cada uno, entonces:

$$(5 \text{ tanques} \times 15 \text{ kgs}) = 75 \text{ kg GLP}$$

** Precio supuesto: Precio aproximado de venta al consumidor de tanque de GLP de 15 kg es 3 usd

*** Precio supuesto: Precio aprox. de venta al consumidor de tanque de GLP sin subsidio es 20 usd

****Factor conversión (Tabla 3): 1m³ biogás = 0.5 kg GLP Por ende,

$$\frac{900 \text{ kg GLP}}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ m}^3 \text{ biogás}}{0,5 \text{ kg GLP}} = 1800 \text{ m}^3 \text{ biogás}$$

Como conclusión a los cálculos realizados, la necesidad de combustible convencional del productor puede ser completamente satisfecha mediante el uso del biogás de su biodigestor; puesto que, el estimado de producción de biogás de su biodigestor es de 9195,8 m³ anuales (Tabla 22), mientras su necesidad para reemplazar el GLP que emplea al año es de 1800 m³ de biogás (Tabla 23).

Adicionalmente, es importante considerar el ahorro que genera el uso de biogás en lugar de combustible convencional. En el caso este productor, quien usa GLP, existe un ahorro aproximado de 180 dólares al año dado que el GLP se encuentra subsidiado en el Ecuador; sin embargo, el ahorro podría llegar a un aproximado de 1197 dólares si se quitase el subsidio (Tabla 23). De la misma manera, varios combustibles convencionales pueden ser reemplazados por el biogás con mayor o menor eficiencia.

7.2 Ahorro anual por sustitución de fertilizantes sintéticos por biol

Para conocer el ahorro por la sustitución de fertilizantes por biol, se realizaron los siguientes cálculos:

- Determinar el tipo de fertilizante (UREA, DAP, otros) que será sustituido y la concentración del componente activo (N, K₂O, P₂O₅) de dicho fertilizante.
- Calcular la disponibilidad anual del nutriente en el biol (Tablas 22 y 24).
- Calcular la disponibilidad anual del nutriente en su forma comercial, a partir de su concentración en la misma (Tabla 24).
- El ahorro anual potencial se obtiene al multiplicar la cantidad de kilogramos del nutriente en su forma comercial (fertilizante) por su precio comercial.



Ilustración 36. Utilización de Biol en cultivos.

Tabla 24. Potencial valor económico del biol como posible remplazo de sintéticos

Fertilizante	Nutrientes en el fertilizante	Concentración en el fertilizante %	Disponibilidad anual del nutriente en biol (kg)*	Disponibilidad en forma comercial (kg)**	Precio del kg de fertilizante (\$)***	Potencial ahorro anual al sustituir fertilizante convencional con biol (\$)****
Urea	Nitrógeno	46%	3245,58	7055,61	0,52	3668,92
NPK 18-46-0	Nitrógeno	18%	3245,58	18031,00	0,75	7349,59*****
	Fósforo P2O5	46%	4507,75	9799,46		
Muriato de potasio	Potasio K2O	60%	540,93	901,55	0,55	495,85

*Tabla 20

**Está dada por la concentración del nutriente en la presentación comercial:

$$\text{Disponibilidad en forma comercial} = \frac{\text{Disponibilidad anual del nutriente en biol (kg)} \times 100\%}{\text{Concentración en el fertilizante \%}}$$

*** Precio aproximado en Ecuador 2015

**** En caso de los fertilizantes sintéticos de la tabla, se podría reemplazar su uso por biol.

***** Para éste cálculo, dado que el fertilizante posee más de un nutriente, se usó la menor de las disponibilidades del nutriente

$$979946 \text{ kg} \times 0,75 \text{ dólares} = 7378,99 \text{ dólares}$$

e) Al usar los datos de carga de estiércol anual y porcentajes conocidos de composición del estiércol (Varnero y Arellano, 1991), se determinó la cantidad de nutrientes (nitrógeno, fósforo, y potasio) que se obtendría en los efluentes. Al tener en su efluente los nutrientes equivalentes a 141,1 sacos de 50kg de UREA, 18,03 sacos de 50 kg de Muriato de Potasio o 196 sacos de Fosfato Diamónico; el productor no necesitaría comprar ese fertilizante (en caso de necesitarlo), usando en su lugar biol como reemplazo para mejorar la productividad de sus cultivos.

7.3 Costos Totales (CT)

Los costos totales comprenden la implementación, operación y mantenimiento del biodigestor.

$$CT = C. \text{ de implementación del biodigestor} + C. \text{ de mantenimiento} + C. \text{ de operación del biodigestor}$$

Con las dimensiones del biodigestor y la información necesaria para realizar los trabajos de campo hay que empezar a elegir el material con el cual se va a implementar el biodigestor, para lo cual se debe considerar la situación económica del productor. El plástico de invernadero de calibre 8 o 10, doble bolsa, es menos costoso que usar geomembrana de PVC de 750 o 1000 micras de espesor, la cual es más costosa.

Adicionalmente, deberá considerarse los gastos de mano de obra (excavación de la zanja, construcción del separador de sólidos, medios de protección del biodigestor, etc.). En el estudio descrito anteriormente, al tratarse de un biodigestor de 24m de largo y 86,45m³ de fase líquida, es recomendable trabajar con geomembrana de PVC dado que el plástico se recomienda únicamente para biodigestores con fase líquida menor a 10m³.

A continuación se muestran los costos del estudio de caso anterior:

A continuación se muestran los costos del estudio de caso anterior:

Tabla 25. Costos referenciales para invertir en la instalación del biodigestor

Descripción	Valor (USD)
Biodigestor prefabricado en geomembrana PVC de 750 micras de espesor, filtro para H ₂ S y válvula de seguridad.	1500
Obra civil de (mano de obra, cajas de mezcla, separador de sólidos por flotación, mejoramiento de la conducción de las aguas residuales)	600
Trabajo de campo (limpieza del terreno, remoción de tierra, elaboración de la zanja según medidas otorgadas con maquinaria y nivelación del fondo de la zanja)	500
Materiales y Mano de obra (instalación y protección del biodigestor)	1000
TOTAL	3600

Nota. Los valores no incluyen asesoría técnica, materiales para la conducción y uso del biogás, imprevistos, sistema de riego con el biol producido e IVA.

Beneficio Neto

Una vez se cuenta con la información respecto a los beneficios totales y a los costos, se puede determinar el beneficio total y beneficio neto tanto para el primer año, como para varios años. Esto permite visualizar las ventajas del sistema en el tiempo, tomando en cuenta la posible renovación del biodigestor será después de 5 a 10 años dependiendo del mantenimiento del sistema.

Beneficio total

= Beneficio por ahorro en combustibles convencionales
+ Beneficio por ahorro en fertilizantes artificiales

Beneficio neto = Beneficio total - Costos totales

7.4 Beneficios generales a la familia:

- Reducción de riesgo de enfermedades respiratorias (menos uso de leña que reduce la contaminación intradomiciliaria).
- Cocción más limpia, eficiente y a menos costo.
- Mejor manejo de estiércol y por ende menos olores desagradables.
- Ahorro en combustible y/o energía por autoabastecimiento con biogás.

- Ahorro de tiempo en recolección de estiércol, leña y fertilizantes químicos
 - Reducción de focos infecciosos.
 - Cumplimiento de regulaciones ambientales (Mink, 2011).
- combustibles convencionales por biogás.



Ilustración 37. Familia beneficiaria de un biodigestor del Proyecto GENCAPER - MAE, 2015

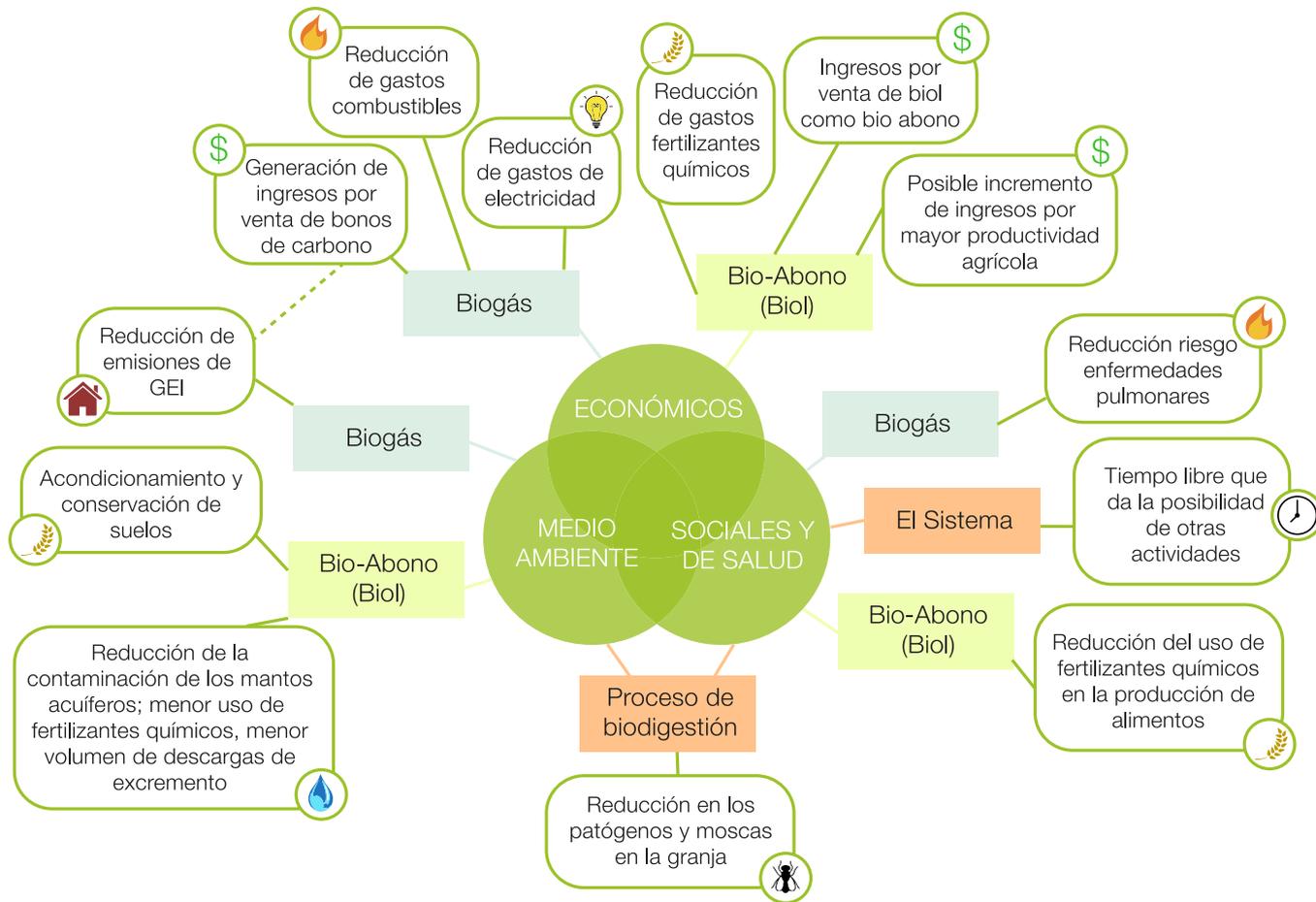


Ilustración 38. Beneficios de la digestión anaerobia en la agricultura. / Fuente: IIRRI, 2014

7.5 Razones de fracaso de proyectos con biodigestores

Es importante tener presente que al realizar el proceso para la instalación del sistema de biodigestión también se pueden presentar dificultades que repercutirán el funcionamiento del biodigestor. Por tanto se debe tratar de evitar las siguientes razones:

RAZONES TÉCNICAS

evantamiento de información de campo incompleta

- Falta de conocimiento en diseño e instalación.

Poca información otorgada al productor en mantenimiento y operación.

- No se diseña el biodigestor de acuerdo a la necesidad de la finca.



RAZONES SOCIALES

- Mala selección de beneficiarios.

- El usuario asume que se incrementará su carga laboral.

- Falta de socialización con las comunidades

- "Falsas expectativas" en los beneficiarios.

- Uso de terminología muy técnica.

- Mala comunicación técnico-productor.

- Imposición de decisiones (Debe darse opciones para que el beneficiario decida)



8

BIBLIOGRAFÍA

- Agrocalidad- (2013). Manual de Aplicación de Buenas Prácticas Porcinas. Ecuador
- Deublin, D. y Steinhauser, A. (2009): “Biogas from Waste and Renewable Resources, An introduction”, Wiley VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Hoffman, M. Baier, U. (2003): “Vergarung von Pulpa aus der Kaffee Produktion”, HSW Hochschule Waden-swil, Bundesamtes fur Energie, Wadenswil.
- Kashani, A. (2009): “Application of Various Pre-treatment Methods to Enhance Biogas Potential of Waste Chicken Feathers”, Tesis de maestría en Ingeniería Ambiental, Escuela de Ingeniería, Universidad de Boras, Suecia.
- Martí-Herrero, J. Guachagmira, R. Dominguez, D. s/f. Intercambio de experiencias en biodigestores entre Ecuador y Bolivia. Executive Summary of Exchange of Biodigester Experiences between Ecuador and Bolivia.
- IRRI (Institut Internacional de Recursos Renovables A.C.). (2014). Manual para la implementación de proyectos de captura emitido por la Agricultura y Ganadería de México. Versión 1.2.
- Martí-Herrero, J. (2008). Biodigestores Familiares, Guía de Diseño y Manual de Instalación. GTZ- Energía. Bolivia.

- Martí-Herrero, J. Martín, V. Acosta, F. Ameller, G. (2012). Estudio de factibilidad para un programa nacional de biogás doméstico en Bolivia.
- Martí-Herrero, J. (s/f). IDEASS América Latina. Biodigestores de bajo costo para producir biogás y fertilizante natural a partir de residuos orgánicos. <http://www.ideassonline.org/public/pdf/BrochureBiodigestoresESP.pdf>
- MINENERGÍA, PNUD, FAO, GEF. (2011). Manual de Biogás. Chile.
- Peláez, M. García, M. Barriga, R. Martí-Herrero, J. Montero, A. Mayer, F. García, J. (2015). Estado de uso de la biomasa para la producción de bioenergía, biocombustibles y bioproductos en Ecuador, In: Energía renovable en Ecuador: Situación actual, tendencias y perspectivas. Eds. M.R.Pelaez-Samaniego y J.L.Espinoza Abad. Capítulo 2
- RedBioCol (Red de Biodigestores de Colombia). Soluciones Autosostenibles Posibilidades Energeticas de la Biomasa.
http://www.redbiocol.org/encuentrona1/pdf/3-PRESENTACION%20TERRAZONET_PRIMER%20ENCUENTRO%20NACIONAL%20REDBIOPOL_Final.pdf
- Sistema Biobolsa. Manual de Instalación. México. s/f
- Samayoa, S. Bueso, C. Viquez, J. Programa Regional de Medio Ambiente en Centroamérica (PREMACA). (2012). Guía implementación de sistemas de biodigestión en ecoempresas. Honduras.
- Tirian, M. (2011). El Congreso RedBioLAC. Kaki Amrit B. Dixit, Kunda. (1984). Biogas Field Book, Sahayogi Press Pvt. Ltd. Tripureshwar, Kathmandu, Nepal.
- Varnero, M.T. 1991. Manual de Reciclaje Orgánico y Biogás. Ministerio de Agricultura (FIA) – Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Santiago, Chile, 48p.
- VNEEP (2010). Ministry of Industry and Trade/ Biogas produces many advantages. <http://vneec.gov.vn/tin-tuc/activity-news/t10478/biogas-produces-many-advantages.html>

9

ANEXOS

Anexo 1. Tabla de equivalencias en UPOA's

CATEGORÍA ETARIA	EQUIVALENCIA EN UPOA'S
Verraco	1
Cerdo de engorde	0,8
Madre	0,8
Chanchilla	0,6
Levante	0,6
Lechón	0,1

Fuente: AGROCALIDAD, 2013.

Anexo 2. Clasificación de las granjas porcinas por UPOA's

CATEGORÍAS		NÚMERO DE UPOA'S
Familiar	Familiar pequeño	1 a 10
	Familiar comercial	11 a 30
Comercial	Comercial pequeño	31 a 80
	Comercial mediano	81 a 100
	Comercial grande	101 a 300
Industrial	Industrial	301 a 600
	Industrial integrado	Mayor a 600

Fuente: AGROCALIDAD, 2013.



Proyecto GENCAPER, biodigestor instalado en finca porcina Santo Domingo - Ecuador, 2015



MINISTERIO DEL AMBIENTE
SUBSECRETARÍA DE CAMBIO CLIMÁTICO
PROYECTO GENCAPER

Av. Madrid 1159 y Andalucía
Telf.: +(593) 23987600 Ext. 1312
www.ambiente.gob.ec
Quito - Ecuador

ISBN: 978-9942-07-972-5

