

# ANÁLISIS DE BIOMASAS OBTENIDAS EN EL SECTOR RURAL, MUNICIPIO DE SIBATÉ – CUNDINAMARCA\*

Fecha de recepción: 16 de febrero de 2017

Fecha de aceptación: 16 de marzo de 2017

Páginas: 10-17

Diana María Prieto Sanabria\*\*

Juan Manuel Fajardo Pinilla\*\*\*

\* Artículo de revisión.

\*\* Ingeniera Industrial, Especialista en Diseño de Ambientes de Aprendizaje y candidata a Maestría en Desarrollo Sostenible y Gestión Ambiental. Profesora del Programa de Tecnología en Logística de la Corporación Universitaria Minuto de Dios -UNIMINUTO, Centro Regional Soacha.  
Correo electrónico: diana.prieto@uniminuto.edu

\*\*\* Químico, Administrador de Empresas, Especialista en Diseño de Ambientes de Aprendizaje. Profesor del Programa de Administración de Empresas de la Corporación Universitaria Minuto de Dios -UNIMINUTO, Centro Regional Soacha.  
Correo electrónico: jmfajardo@uniminuto.edu

## Resumen

Actualmente, el destinar de forma correcta nuestros residuos es un proceso de concienciación que involucra el proceso de selección y buena disposición de los residuos sólidos. En ese sentido, este artículo plantea el aprovechamiento de residuos orgánicos, desechos habituales de una finca o de la cocina de nuestros hogares –cáscaras de plátano, hollejos de papa, cáscaras de huevo, entre otros desechos-. Para esto, se cuenta con biodigestores elaborados de manera empírica, que incrementan el espacio destinado para su instalación y funcionamiento. Esta propuesta presenta prototipos de biodigestores a una escala menor –de 50 a 1000 litros-, que emplean elementos encontrados habitualmente en la finca o en casa, dando aprovechamiento al reciclaje. En el ensamble de esos biodigestores, con el objetivo de hacer construcción de estos equipos con materiales recuperados, se pretende realizar biodigestores a bajos costos, implementar estrategias que permitan funcionar un prototipo con estas características y generar combustibles y energías renovables.

En las zonas rurales, la implementación de biodigestores es una de las estrategias por medio de la cual las energías renovables contribuyen al desarrollo diario de actividades como optimizar los residuos sólidos generados diariamente en las fincas y hogares. El impacto generado en la comunidad se relaciona con la conservación del ambiente, las mejoras en el factor de cambio climático y las condiciones de vida de la población rural para fomentar el aprovechamiento de los recursos naturales a nivel general. Se reportan los datos obtenidos en la parte experimental, como complemento del trabajo llevado a cabo hasta la fecha.

**Palabras clave:** Biodigestores, abono orgánico, biomasa, biocombustibles, biogás, lixiviado.

## ANALYSIS OF BIOMASSES OBTAINED IN THE RURAL SECTOR, MUNICIPALITY OF SIBATÉ – CUNDINAMARCA

### Abstract

The correct allocation of our waste is a process of awareness that involves processes of selection and good disposal of solid waste. In this sense, this article proposes the use of organic waste (common waste) from farms or our houses' kitchens - banana skins, potato skins, eggshells, among others-. For this reason, biodigesters elaborated in an empirical way, which increase the space destined for installation and operation are available. This proposal presents prototypes of biodigesters on a smaller scale -from 50 to 1000 liters-, which use elements usually found on the farm or at home, making use of recycling methods. The assembly of biodigesters was with the purpose of building this equipment with recovered materials. Additionally, planning to make biodigesters at low costs and implement strategies that allow operating with a prototype with these characteristics and produce fuels and renewable energies.

The implementation of biodigesters in rural areas is one of the strategies by which renewable energies contribute to the daily development of activities such as optimizing the solid waste produced daily in farms and houses. The impact generated in the community is related to the conservation of the environment, improvements in the climate change factor and the living conditions of the rural population to encourage the use of natural resources at a general level. The data obtained in the experimental part is reported, as a complement to the work carried out to date.

**Key words:** Biodigesters, organic fertilizer, biomass, biofuels, biogas, leachate.

## ANÁLISE DE BIOMASAS OBTIDAS NO SETOR RURAL, MUNICÍPIO DE SIBATÉ – CUNDINAMARCA

### Resumo

Atualmente, o destinar de forma correta nossos resíduos é um processo de conscientização que envolve o processo de seleção e boa disposição dos resíduos sólidos. Nesse sentido, este artigo propõe o aproveitamento de resíduos orgânicos, resíduos habituais de uma fazenda ou da cozinha de nossos lares –cascas de banana, pele de batata, cascas de ovo, entre outros resíduos-. Para isto, se conta com bio digestores elaborados de maneira empírica, que incrementam o espaço destinado para sua instalação e funcionamento. Esta proposta apresenta protótipos de biodigestores a uma escala menor –de 50 a 1000 litros-, que empregam elementos encontrados habitualmente na fazenda ou em casa, dando aproveitamento ao reciclagem. No monte desses biodigestores, com o objetivo de fazer construção destas equipes com materiais recuperados, pretende-se realizar biodigestores a baixos custos, implementar estratégias que permitam funcionar um protótipo com estas características e gerar combustíveis e energias renováveis.

Nas zonas rurais, a implementação de biodigestores é uma das estratégias por meio das quais as energias renováveis contribuem ao desenvolvimento diário de atividades como otimizar os resíduos sólidos gerados diariamente nas fincas e lares. O impacto gerado na comunidade relaciona-se com a conservação do ambiente, as melhoras no fator de mudança climática e as condições de vida da população rural para fomentar o aproveitamento dos recursos naturais a nível geral. Reportam-se os dados obtidos na parte experimental, como complemento do trabalho levado a cabo até a data.

**Palavras-chave:** Biodigestores, adubo orgânico, biomassa, biocombustíveis, biogás, lixiviado.

## INTRODUCCIÓN

Un digester de desechos orgánicos o biodigestor es un contenedor cerrado, hermético e impermeable, llamado reactor, que contiene como mínimo dos tubos, uno de entrada y otro de salida, los cuales facilitan tanto el cargue como el descargue de la biomasa, dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar –excrementos de animales y humanos, desechos vegetales, en general diversas biomásas en las cuales la relación carbono – nitrógeno, sea del orden 30(20)-1; de acuerdo con la literatura reportada sobre el tema no se incluyen cítricos, ya que acidifican, etcétera– en determinada dilución de agua por lo general 2:1, para que se descomponga; a su vez, tendrá también un tubo para la salida de gases que se generen durante el proceso, el cual permite su conducción al recipiente donde se va a quemar para suministrar energía calórica –siendo uno de los diferentes usos que se le puede dar al gas metano generado–, como beneficio del proceso y un subproducto que es un mejorador de suelos excelente, dado que es rico en nitrógeno, fósforo y potasio.

Figura 1. Biodigestor a escala menor, capacidad 50 litros



Fuente: fotografía tomada por el autor.

El fenómeno de biodigestión ocurre porque en las biomásas utilizadas hay presente un grupo de microorganismos bacterianos anaeróbicos

–bacterias metanogénicas–, especialmente en el material fecal, que al actuar sobre los desechos orgánicos de origen vegetal y animal, producen una mezcla de gases con alto contenido de metano –CH<sub>4</sub>– llamado biogás, sumamente eficiente si se emplea como combustible. Como resultado de este proceso, se generan residuos con un alto grado de concentración de nutrientes y materia orgánica conocido como biol –ideal como fertilizante– que puede ser aplicado fresco, pues el tratamiento anaerobio elimina los malos olores y evita la proliferación de moscas. No obstante, se deben controlar ciertas condiciones como el pH, la presión, la temperatura y tipo de biomasa, a fin de que se pueda obtener un óptimo rendimiento.

Así pues, el biodigestor es un sistema fácil de implementar con materiales económicos. Es conveniente introducirlo en comunidades rurales aisladas y de países en desarrollo para obtener el doble beneficio de solventar la problemática energética-ambiental, así como de realizar un adecuado manejo de los residuos tanto humanos como animales.

En la búsqueda de antecedentes acerca de la construcción y aplicación de un biodigestor, se encontraron diferentes proyectos similares al que se desarrolla en este momento. Bonet (2007) diseñó un biodigestor de 50 litros y otro de 16 000 litros en las explotaciones agrícolas ganaderas partiendo de la recuperación y el aprovechamiento de los residuos que se generaban en su finca. Realizó diversas experiencias con varios modelos que creó íntegramente para este fin. Se toma como antecedente, refiriéndonos exactamente a este proyecto, el último plano del diseño del biodigestor de 16 000 litros, utilizado por el autor en la segunda experiencia, partiendo también de los planos de diseño del biodigestor de 50 litros, todo esto con el fin ya planteado en el proyecto –construcción de un biodigestor a escala–. Igualmente, se tienen en cuenta las medidas de seguridad y protección del biodigestor que Bonet utilizó con resultados exitosos, como por ejemplo la utilización

de hormigón armado y la aplicación de una capa impermeable de pintura para sellar paredes y evitar fugas, la utilización de una lona como tapa para la cubierta del biodigestor que genera presión para que se asegure la ausencia de oxígeno en el dispositivo.

Con el conocimiento del proyecto mencionado anteriormente, se encontró una nueva información respecto a otro tipo de combustible obtenido a partir del biodigestor, que es el alcohol etílico –fermentación aeróbica–, algo que a pesar de que no se toma en cuenta para este proyecto, sirve de gran ayuda para cuando el prototipo esté totalmente construido y sea funcional, dejándolo como sugerencia a quienes continúen en el desarrollo de este proyecto.

En la experiencia del proyecto biodigestor SEPADE, dirigido por Ríos (2007), éste fue utilizado para diferentes fines como:

- El tratamiento de residuos de lechería.
- Energía alternativa para sustituir la que utilizaban en el sistema interconectado.
- La iluminación de salas de clase y diferentes salones específicos –gimnasio, cafeterías, oficinas–.
- Uso de la energía renovable en espacios productivos.

Estos fines brindaron una idea acerca de la posibilidad del uso productivo y óptimo del metano que se obtiene del proceso de tratamiento del biodigestor, ya que es considerado una planta de energía eléctrica convencional y alterna. Cuando incorporamos esta experiencia en el proyecto de investigación, resaltamos la elaboración del prototipo y realizamos una incorporación de materiales existentes en las fincas para hacer el prototipo a bajo costo.

A partir de un vídeo realizado por Villanueva Silva (2008), se tomó como base el tratamiento previo de la materia orgánica, ya que allí se muestra que, al humedecer la materia orgánica, el proceso de descomposición y posterior producción de gas es más efectivo.

El grupo de Investigación de Energías Renovables –GIDER– de la Facultad de ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste (2006), desarrolló un proyecto relacionado con la utilización de residuos para la producción de biogás. De este proyecto se tomaron como antecedentes las recomendaciones que este grupo está dando para el funcionamiento óptimo del biodigestor; condiciones dejadas por ellos mismos como sugerencias para quienes continuarán el proyecto. En éstas se menciona que, en cuanto a condiciones de temperatura, esta debe ser de más o menos 36°C –digestión mesófila–.

El proyecto tiene como base para su desarrollo los siguientes parámetros:

- Generación de energías alternativas, empleando residuos sólidos orgánicos –RSO– generados en la finca o en la casa.
- Disminución del impacto ambiental por la generación de RSO, los cuales van a los botaderos sin ningún proceso, incrementando la contaminación ambiental.
- Contribución al desarrollo de zonas rurales con baja cobertura de energía eléctrica y aprovechamiento productivo de los RSO.
- Disminución del impacto ambiental por la generación de gases efecto invernadero.

Como se expone más adelante, se pretende disminuir el tamaño de los biodigestores y su masificación en zonas rurales como fuente alternativa de energías no convencionales.

También se requiere ofrecer una solución a la contaminación ambiental producida por los RSO, generando una cultura de reciclaje productivo y un aprovechamiento benéfico de éstos, dado que durante la biodigestión el proceso de fermentación anaeróbica que produce el biogás, produce también una mezcla residual que es un rico fertilizante orgánico de mayor calidad y contenido de nitrógeno que el estiércol fresco y que puede ser utilizado para formar un *compost* con residuos vegetales o ser distribuido sobre los campos como fertilizante de considerable valor.

El biogás y el abono residual de la operación se han convertido en una fuente ideal de energía limpia para las naciones con poblaciones rurales numerosas sin medios económicos y prácticos para disponer de energía convencional. Es así como ha tomado un gran impulso sobre todo en Asia, en países como China y la India, donde ya hay cerca de 500 000 plantas del tipo familiar instaladas y funcionando en pleno (Nitsch & Rettich, 1993 como se cita en Club de Ensayos, 2014). Otro de los insumos que puede aprovecharse de manera significativa es el líquido residual –lixiviado–, con el cual se está experimentando para ser empleado como agente plaguicida para los cultivos. De igual forma, se pretende contribuir al establecimiento de políticas ambientales por parte del Gobierno, al menos del local, dado el impacto que se espera que el proyecto genere a través de su desarrollo.

En cuanto al aspecto económico, el aprovechamiento de los RSO puede llegar a ser una fuente de ahorro, ya que, al suplir las necesidades de energía calórica o lumínica en algún grado, contribuye a mejorar la economía casera, y, por último, al disminuir la generación de RSO, el medio ambiente se ve favorecido y los rellenos sanitarios recibirán menor carga orgánica.

### ENSAMBLE DE BIODIGESTOR

La propuesta planteada es un prototipo ensamblado con elementos reutilizables, tales como canecas plásticas, botellas de agua de 50 a 100 litros, galones de plástico e isotanques con capacidad de 1000 litros, lo cual es parte del primer prototipo para seguimiento de los diferentes componentes orgánicos que se van a descomponer dentro del biodigestor.

El prototipo inicial cuenta con las siguientes piezas:

- Dos tanques de agua de 5 a 1000 litros.
- Tubería para gas propano –incluye llaves, empaques y ensamble de los mismos–.
- Un mechero u hornilla.

El ensamble del biodigestor en campo se propone de la siguiente forma: tomamos un tanque plástico, al cual se le practican tres orificios. En estos orificios se ubicarán los tubos que servirán para diferentes funciones, uno de ellos permite el cargue de la biomasa y se encuentra ubicado en la parte superior del tanque, el otro sirve para la colocación del manómetro, puede ir en la parte superior o lateral del tanque y el tercer orificio prestará las funciones de descargue de lixiviados y retiro del material sólido transformado en abono y se debe colocar en la parte lateral inferior del tanque. Una vez ubicada la tubería correspondiente, se efectúa una prueba de sellado con aire a presión, la cual se sostiene durante dos días, tiempo en cual los sellantes empleados para la fijación de los tubos cumplirán o no con su función y si la prueba es positiva el prototipo puede ser cargado.

El prototipo empleado en el ensayo es un biodigestor de flujo discontinuo, el cual se carga una vez y queda cerrado por un tiempo fijo de retención hasta que haya terminado el proceso de fermentación y no haya producción de gas. En esas plantas, al comienzo hay mucha masa orgánica y pocas bacterias y, al final, hay muchas bacterias y poca masa orgánica. La operación involucra principalmente cargar un biodigestor que permanecerá cerrado con sustrato, un inoculante y, en algunos casos, una base para mantener el pH casi neutral. El digestor es sellado y la fermentación se realiza entre treinta y ciento ochenta días, dependiendo de la temperatura ambiente. Durante este período, la producción de gas aumenta paulatinamente hasta un máximo y luego declina. Esta fermentación se puede realizar con un contenido de sólidos orgánicos de 6 a 10%.

### ORIGEN DE RESIDUOS PARA CARGA DEL BIODIGESTOR

Es de anotar la importancia del origen y la recolección de los residuos con los que se efectúa la carga del biodigestor, ya que si estos contienen contaminantes –ej., residuos de mercurio, metales pesados, aceites o grasas–,

van a interferir en la generación del biogás y los resultados de pueden ser pobres o nulos.

Los residuos deben estar libres de sólidos y otros materiales como arena, rocas y piedras, pues la aglutinación de sólidos bloquea las tuberías del biodigestor y obstaculiza la operación. Es recomendable la instalación de un sedimentador antes del ingreso de la materia prima.

Otros materiales como residuos medicinales –antibióticos–, detergentes, ácidos o materiales ácidos –cáscaras de cítricos– y sustancias halógenas pueden ser nocivas para la acción de las bacterias anaerobias, aunque estos materiales no han sido problema en biodigestores a gran escala, no se han determinado límites para estos componentes, por lo que se debe evitar que este tipo de sustancias se añadan a los residuos con que se carga el biodigestor.

### CANTIDAD DE CARGA

En cuanto a la cantidad de carga para el biodigestor, la relación empleada es de 1:3 –sólido –líquido–. En ningún caso el contenido de sólidos en la carga debe ser inferior al 10%, lo cual nos permite un proceso adecuado de generación de gas, además, la relación Carbono –Nitrógeno, en la mezcla de sólidos que se dosifiquen al biodigestor, debe ser de por lo menos 20:1 –30:1 es la ideal–.

Si bien la digestión anaeróbica es un proceso complejo y largo, el cual puede ajustarse a pequeños cambios, los cambios drásticos de materia prima deben evitarse; asimismo, hay que tener cuidado en realizar la mezcla con las cantidades de agua recomendadas.

### TEMPERATURA

La temperatura es uno de los principales factores que afectan el crecimiento de las bacterias responsables de la producción de biogás. La producción de biogás puede ocurrir en cualquier sitio que se encuentre en el rango de temperatura de 4°C a 68°C. A medida

que la temperatura aumenta, la tasa de producción de gas también se incrementa y, por ende, disminuye el tiempo de retención de la materia orgánica dentro del digestor.

Teniendo en cuenta que la producción de gases puede producirse en tres zonas de temperatura para el funcionamiento de los microorganismos: de 5°C – 20°C, digestión psicrófila; de 20°C – 40°C, digestión mesófila y de 40°C – 70°C, digestión termófila (Bueno, J. L. *et al*, 1997). En algunos casos se hace necesario implementar un sistema de calor para mejorar el rendimiento del proceso.

### RESULTADOS

Para el desarrollo de este proyecto se elaboró un prototipo de 1000 litros de capacidad de carga, el cual se ubicó en una finca cercana al municipio de Sibaté.

Figura 2. Proceso de cargue con Biomasa



Fuente: fotografía tomada por el autor.

La carga dosificada está constituida por material vegetal –biomasa vegetal– y estiércol de cerdo, distribuida así: 100 kilos de estiércol de cerdo y 200 kilos de biomasa vegetal, y 400

litros de agua, aportando esta mezcla un 11,3% de sólidos totales.

La temperatura es otra variable que debe ser controlada, para ello en el momento de hacer el montaje del biodigestor en el campo de trabajo fue necesario hacerle un cubrimiento tipo invernadero, dado que la temperatura promedio del sitio está alrededor de 8°C. A partir de estas condiciones del sitio de trabajo, optamos por tomar la temperatura cada 24 horas durante los quince primeros días de efectuada la carga, obteniendo los siguientes datos:

Tabla 1.

REF	FECHA	TEMP °C
1	05/09/2015	28
2	06/09/2015	29
3	07/09/2015	28
4	08/09/2015	27
5	09/09/2015	28
6	10/09/2015	29
7	11/09/2015	30
8	12/09/2015	27
9	13/09/2015	28
10	14/09/2015	29
11	15/09/2015	28
12	16/09/2015	27
13	17/09/2015	28
14	18/09/2015	29
15	19/09/2015	28

Fuente: elaboración propia.

En razón al promedio de medidas obtenidas, la temperatura se controló cada ocho días sin obtener variaciones significativas. El tiempo de retención obtenido en el ensayo implementado fue de treinta y ocho días, en donde se obtuvo el mayor volumen de gas generado.

El pH de la solución inicial una vez realizada la mezcla de carga inicial fue de 7,9, transcurridos diez días de proceso se determinó el pH y el valor obtenido marcó 7,4; una vez se logró

el tiempo de retención máximo, se determinó nuevamente el pH obteniendo un valor de 6,7; tal como se reporta en la siguiente tabla:

Tabla 2.

REF	FECHA	pH	DETALLE
1	05/09/2015	7,9	Carga inicial
2	15/09/2015	7,4	A 10 días
3	14/09/2015	6,7	Máxima retención

Fuente: elaboración propia.

Para efectuar la medición del biogás generado, se armó un sistema de almacenamiento del gas –gasómetro–, mediante campana de plástico y sello de agua –aparato que puede ser usado en docencia e investigación–, y se efectuaron algunas medidas. A continuación se ilustra el montaje efectuado:

Figura 3. Medidor de gas



Fuente: fotografía tomada por el autor.

El dispositivo consta de un tanque que recolecta el gas generado; a continuación, se encuentra una solución de agua gas –trampa de CO<sub>2</sub>– que forma parte de la mezcla generada en el biodigestor. Seguidamente, hay un recipiente que contiene limaduras de hierro –trampa de ácido sulfhídrico–, y, posteriormente, un recipiente que recolecta el gas ya libre de impurezas, que nos permite medir el volumen obtenido.

La generación de gas puede estar alrededor 11 m<sup>3</sup>, según las determinaciones efectuadas con el gasómetro construido, sin embargo, este aparato no se calibró, por lo tanto, la cifra que se está reportando corresponde a un estimado numérico.

Por último, el proceso de descargue del biodigestor resultó un tanto tedioso, en razón a que el material es muy pastoso y en consecuencia se torna difícil la remoción del mismo del tanque; además, en el momento de destapar el biodigestor, el desprendimiento de olores es intenso, lo cual nos obliga a tomar todas las medidas sanitarias y de seguridad industrial requeridas.

El sólido obtenido, después del vaciado del biodigestor, se pone a secar en forma de capas y sobre cada capa se esparce cal para evitar la presencia de moscas y neutralizar la mezcla; después de tres o cuatro días de secado, se tamiza a un tamaño de partícula uniforme y se empaca en bolsa plástica, para su posterior uso como mejorador de suelos.

## CONCLUSIONES

El empleo de estiércol de cerdo mezclado con material vegetal facilita el proceso de biodigestión y los tiempos de retención están dentro de márgenes adecuados para efectuar este proceso de manera permanente, como apoyo en el empleo de desechos de la finca y la generación de un combustible que permite ser aprovechado en diferentes usos.

El sólido obtenido presenta una buena textura y sin olores desagradables, que, de acuerdo a los datos de la literatura, puede ser empleado como un excelente mejorador de suelos, dada su riqueza en nutrientes.

Con respecto a la generación de energías renovables, con la incorporación de los desechos caracterizados, se generó la presencia de CO<sub>2</sub> después del cargue de la biomasa en ausencia de oxígeno, debido a la gran cantidad de desperdicio vegetal –desecho post cosecha cultivo de fresa y poda–, se logró la obtención de un compostaje con niveles aceptables –7,4 pH–.

## REFERENCIAS

- Arboleda, J., González, L. (2009). *Fundamentos para el Diseño de Biodigestores. Módulo para la asignatura de Construcciones Agrícolas*. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/7967/4/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf>
- Bonet, P. (1985). *Producción de energía alternativa Biogás-Biomasa-Gas metano*. Recuperado de <http://www.yobiogas.com/index3.htm>
- Botero, R., & Preston, R. (1987). *Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Manual para su instalación, operación y utilización*. San José, Costa Rica: Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda – Universidad EARTH.
- Campos, B. (2011). Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo y campesino. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(2), 37-41. Recuperado de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S207100542011000200007&lang=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S207100542011000200007&lang=pt)
- Club de Ensayos. (2014). *Biodigestor*. Recuperado de <https://www.clubensayos.com/Ciencia/Biodigestor/1574432.html>
- Guevara, A. (1996). *Fundamentos Básicos para el Diseño de Biodigestores Anaeróbicos Rurales. Producción de Gas y Saneamiento de Efluentes*. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/031042/031042.pdf>
- Unión Temporal ICONTEC-AENE. (2003). *Guía para la Implementación de Sistemas de Producción de Biogás*. Recuperado de [http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias\\_alternativas/normalizacion/GUIA\\_PARA\\_LA\\_IMPLEMENTACION\\_DE\\_SISTEMAS\\_DE\\_PRODUCCION\\_DE\\_BIO.pdf](http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/normalizacion/GUIA_PARA_LA_IMPLEMENTACION_DE_SISTEMAS_DE_PRODUCCION_DE_BIO.pdf)