

# Instalaciones de biogás a mediana y gran escala en Alemania

## Biogas installations to medium and great scale in Germany

Carlos Modesto Martínez Hernández<sup>1</sup>; Stefan Böttinger<sup>2</sup>; Norbert Kanswohl<sup>3</sup>; Mathias Schlegel<sup>3</sup>; Hans Oechsner<sup>2</sup>

1. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba.
2. Universidad de Hohenheim, Stuttgart.
3. Universidad de Rostock.

E-mail: [carlosmh@uclv.edu.cu](mailto:carlosmh@uclv.edu.cu)

---

**RESUMEN.** El trabajo brinda información acerca de las diferentes instalaciones (plantas) para producir biogás a mediana y gran escala en Alemania. El mismo se desarrolló con el apoyo del Instituto de Tecnología Agropecuaria de la Universidad de Rostock y el Instituto de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Hohenheim, Stuttgart. Mediante este trabajo, se muestran las características de las plantas de biogás de mediana y gran escala utilizadas en Alemania en la actualidad; así como su finalidad. Esto constituye una fuente de información importante a la hora de proyectar y ejecutar instalaciones semejantes en países del sur. El objetivo fundamental del trabajo consiste en mostrar las características de estas instalaciones y su posible aplicación en países en vías de desarrollo como es el caso cubano.

**Palabras clave:** Plantas de biogás, escalado.

**ABSTRACT.** This paper give information about German biogas plant at middle and big scale. That research was executed with support of Rostock University and Hohenheim University. The main objective is to show the properties of German biogas plant at middle and big scale and it's possible use in undevelopment country like as Cuba.

**Key words:** Biogas plants, scale.

---

## INTRODUCCIÓN

En la Alemania actual es muy común encontrar plantas de biogás de mediana y gran escala. En ese país existe una gran tradición y conocimiento relativo a la producción y utilización del biogás. Los alemanes han desarrollado diversas tecnologías para la obtención de biogás y últimamente estas tecnologías combinan varios procesos y biomásas. Por otra parte, el gobierno alemán ha priorizado el estudio e investigación de fuentes renovables de energía como vía fundamental para reducir los gastos y hacerse autosuficientes en el tema energético, tema polémico y candente a nivel global, el cual ha desembocado en guerras y ambiciones de algunas potencias por un nuevo reparto de los recursos energéticos a escala mundial.

Para tener una idea del valor de los combustibles en Alemania se presentan los siguientes datos obtenidos en septiembre de 2007.

Diesel = 1,199 \$/L; Biodiesel = 1,169 \$/L; Gasolina = 1,399 \$/L; Gasolina súper = 1,419 \$/L y Gasolina súper plus = 1,479 \$/L.

De acuerdo con Weiland (2003), en Alemania, en el sector agrícola se pueden encontrar plantas de biogás de diferentes capacidades, diseños, condiciones de operación y utilización de diferentes sustratos o residuos para la producción de metano.

Según Weiland (2003), a finales del año 2001 aproximadamente 1 650 plantas de biogás de mediana y gran escala estaban en funcionamiento.

Estas plantas son capaces de generar calor y electricidad. Generalmente, estas plantas utilizan varios sustratos combinados para producir metano; esto es algo interesante y novedoso para los países en vías de desarrollo, los cuales utilizan como materia prima para la producción de metano, las excretas vacunas, porcinas y humanas, fundamentalmente. Para tener una idea del potencial de las instalaciones alemanas, es necesario destacar que: estas 1 650 instalaciones tienen una capacidad instalada total de 140 MW<sup>1</sup> para la generación de electricidad, lo cual es un valor a considerar en cualquier país, máxime si se tiene en cuenta que algunos países no disponen de abundantes recursos energéticos propios, tampoco financieros que le permitan la compra de petróleo en el mercado internacional a los precios actuales, para generar electricidad a través de plantas termoeléctricas.

Aproximadamente el 95 % de las plantas alemanas están instaladas a nivel de campo, con biodigestores típicos de capacidad entre 200 y 1 200 m<sup>3</sup>.

Solamente un 5 % de estas plantas están instaladas a nivel centralizado y utilizan los residuos de estiércol vacuno de un grupo de suministradores, sin mezclar los mismos con otras biomasa. La capacidad típica de estas instalaciones oscila entre 30 000 y 90 000 m<sup>3</sup>/año, pero plantas con capacidad superior a 140 000 m<sup>3</sup>/año también están en operación.

Otro aspecto muy particular en el caso alemán, es la utilización de diferentes biomasa agrícolas e industriales para su mezcla con excretas de origen animal, con la finalidad de producir metano, por todo ello, brindar información de las características y particularidades de las plantas alemanas de biogás de mediana y gran escala constituyó el objetivo de este trabajo.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

En el orden de nuestro estudio, el primer paso fue realizar una profunda investigación bibliográfica. Para lo cual contamos con la colaboración y el apoyo de profesores y técnicos de la Universidad de Rostock y de la Universidad de Hohenheim, en Stuttgart.

En estas universidades se investigan a profundidad los aspectos siguientes:

- cultivos energéticos;
- producción de biogás a escala de laboratorio.

Las investigaciones en estos dos campos se han intensificado en los últimos cinco años y se prevee un desarrollo y escalado a nivel productivo acelerado en los próximos años.

De acuerdo con Weiland (2003), la producción de energía es el principal objetivo de la digestión anaeróbica, y para lograr un buen rendimiento en las plantas de biogás se debe tener una biomasa idónea. En investigaciones anteriores, los alemanes han determinado que el rendimiento de las excretas vacunas y porcinas utilizadas como biomasa oscila entre 25 y 36 m<sup>3</sup>/t de masa fresca, debido a que el contenido de materia seca orgánica de las mismas es bajo (2 % a 10 %). Por tal motivo, ellos consideran antieconómico utilizar estas biomasa sin mezclar para producir metano (biogás). En la actualidad, más del 90 % de las plantas alemanas para la producción de biogás utilizan varios sustratos, tales como: residuos industriales de alimentos, agrícolas, de mercados, de cantinas y del sector municipal, mezclando los mismos con excretas vacunas y porcinas, fundamentalmente. Esta experiencia ha comenzado en 1999, continuando en la actualidad y según Weiland (2003), solamente el 7 % de las plantas de biogás alemanas operan con excretas vacunas y porcinas sin mezclar con otros sustratos.

Las excretas vacunas y porcinas se utilizan en el proceso de obtención de biogás mezcladas con otros sustratos, debido a la alta capacidad que tienen estas biomasa de estabilización del pH; por otra parte, la utilización de residuos industriales de alimentos y agrícolas (pulpas de frutas, vegetales y residuos de semillas oleaginosas), son ideales como sustratos para la digestión anaeróbica, ya que no contienen contaminantes patógenos ni metales pesados.

Las grasas tienen un alto rendimiento en la producción de biogás, pero como en la actualidad varias enfermedades de origen animal se han vuelto a presentar bajo causas prácticamente desconocidas, solamente se utilizan los aceites de procedencia

vegetal. Los residuos provenientes de restaurantes, mercados y el área municipal, necesitan un pre-tratamiento para reducir el tamaño de partícula, separar los posibles contaminantes al proceso de digestión y facilitar la aplicación posterior de los residuos tratados anaeróbicamente al suelo.

Por tal motivo, es necesario realizar a los mismos un tratamiento de pasteurización a 70 °C durante una hora, para eliminar los gérmenes patógenos. Estos residuos son utilizados generalmente en instalaciones de biogás de gran escala, ya que las instalaciones para el pre-tratamiento necesario son costosas y muchos productores agrícolas no disponen del financiamiento necesario para emprender estas inversiones; el pre-tratamiento por pasteurización es importante, ya que disminuye los riesgos por enfermedades que pudieran presentarse en los cultivos y en la cría animal una vez aplicados a los suelos los residuos tratados anaeróbicamente.

Según Weiland (2003), el uso de diferentes biomásas agrícolas mezcladas con excretas vacunas y porcinas constituye una interesante alternativa para la producción de biogás en Alemania. Este autor expresa que en Alemania existe suficiente disponibilidad de tierras para estos fines. Por otra parte Weiland (2003), indica que muchos cultivos agrícolas tales como las raíces y los tubérculos, los granos y muchos cultivos forrajeros pueden ser utilizados en estos fines, sólo que deben ser cosechados en su madurez técnica (antes que comience el proceso de lignificación), para obtener el máximo rendimiento de los mismos en la producción de metano. Este mismo autor brinda algunos datos interesantes acerca de la producción de metano por tonelada de materia seca y por área de siembra, de varios cultivos agrícolas bajo las condiciones de Alemania. A continuación se presentan como referencia a tener en cuenta en otras latitudes. (tablas 1 y 2)

**Tabla 1. Rendimiento en la producción de metano de varios cultivos agrícolas en las condiciones de Alemania (m<sup>3</sup>/t de materia seca)**

Cultivos	Fonraje de remolacha + hojas	Papas	Maíz	Trigo	Cebada	Rape	Ryegrass	Alfalfa	Clover	Marowstemkale
Rendimiento (m <sup>3</sup> /t MS)	<b>456</b>	276	410	390	360	340	410	410	350	<b>255</b>

**Tabla 2. Rendimiento en la producción de metano de varios cultivos agrícolas en las condiciones de Alemania (m<sup>3</sup>/ha.año)**

Cultivos	Fonraje de remolacha + hojas	Papas	Maíz	Trigo	Cebada	Rape	Ryegrass	Alfalfa	Clover	Marowstem kale
Rendimiento (m <sup>3</sup> /ha.año)	<b>5 800</b>	2 280	5 780	2 960	2 030	<b>1 190</b>	4 060	3 965	2 530	1 680

Como se puede apreciar en las tablas 1 y 2, existen diferencias entre los diferentes cultivos en su potencialidad para producir metano, tanto en su rendimiento expresado en m<sup>3</sup>/t de materia seca, como expresado en m<sup>3</sup>/ha/año. Dentro de las raíces y tubérculos se destacan la remolacha y la papa, dentro de los granos el maíz y el trigo; mientras que dentro de los forrajes el reygrass y la alfalfa.

Otras consideraciones que expone Weiland (2003), es la posibilidad de obtener e introducir nuevas variedades de cultivos con alto rendimiento de materia seca por hectáreas, estos pudieran ser cosechados dos veces por año y serían utilizados

fundamentalmente con fines energéticos y no como alimentos.

Weiland (2003), señala que la primera cosecha de la cebada de invierno se pudiera realizar a finales de mayo, donde ese cultivo se encuentra con madurez técnica (antes del comienzo de la lignificación), este estado se corresponde con el máximo rendimiento de masa seca por hectárea del cultivo, por lo que se puede obtener un alto rendimiento en su biodegradación. Esta cosecha temprana permite la siembra de otro cultivo (por ejemplo, maíz), el cual puede ser cosechado en octubre antes de su total maduración. Esto permitiría

rendimientos de masa seca mayores de 20 t/ha/año, los cuales están por encima del rendimiento de este cultivo (12 a 15 t de masa seca/ha/año).

Todos los cultivos energéticos pueden ser preservados mediante técnicas de ensilaje, lo cual permite un almacenamiento prolongado de los mismos.

Dependiendo de las propiedades físico-mecánicas y químicas de los diferentes sustratos utilizados como biomasa, a los mismos se les aplican diferentes tecnologías de ensilaje. Las más comunes son: silos de torre, silos líquidos, silos planos bunker y silos bunker. Un diagrama esquemático de los mismos se aprecia en la figura 1.

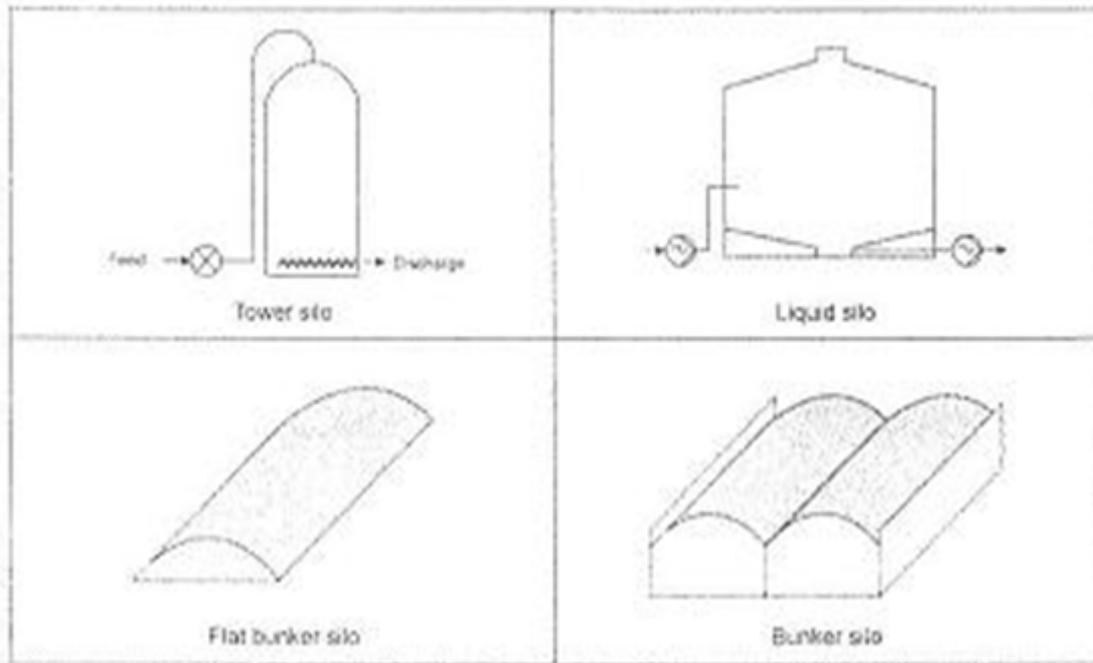


Figura 1. Diferentes tipos de silos utilizados en cultivos energéticos. Fuente: Weiland (2003).

Por otra parte, en dependencia de las propiedades físico-mecánicas y químicas de los sustratos, procesos de fermentación húmeda o seca pueden ser empleados para su digestión anaeróbica en

cultivos energéticos o en mezclas de cultivos con excretas vacunas, porcinas o avícolas. La figura 2 presenta un diagrama esquemático de lo señalado anteriormente.

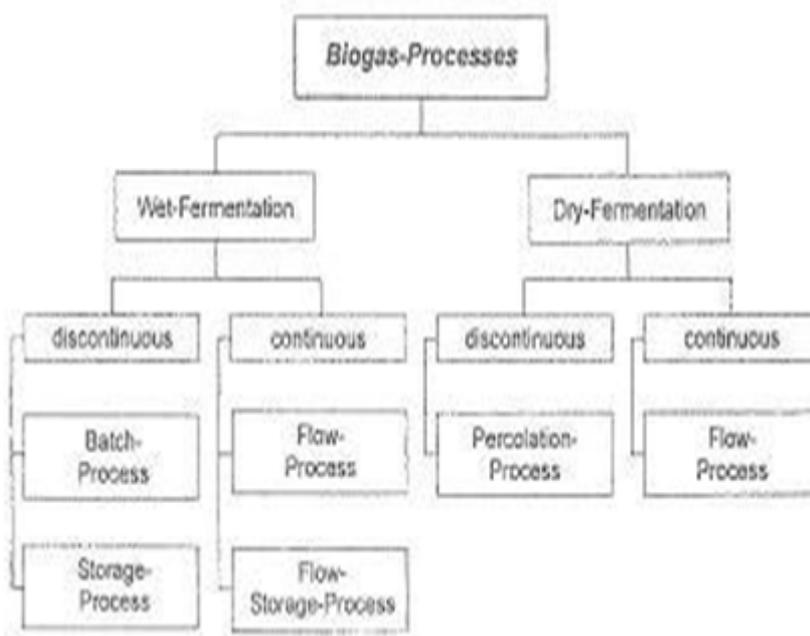
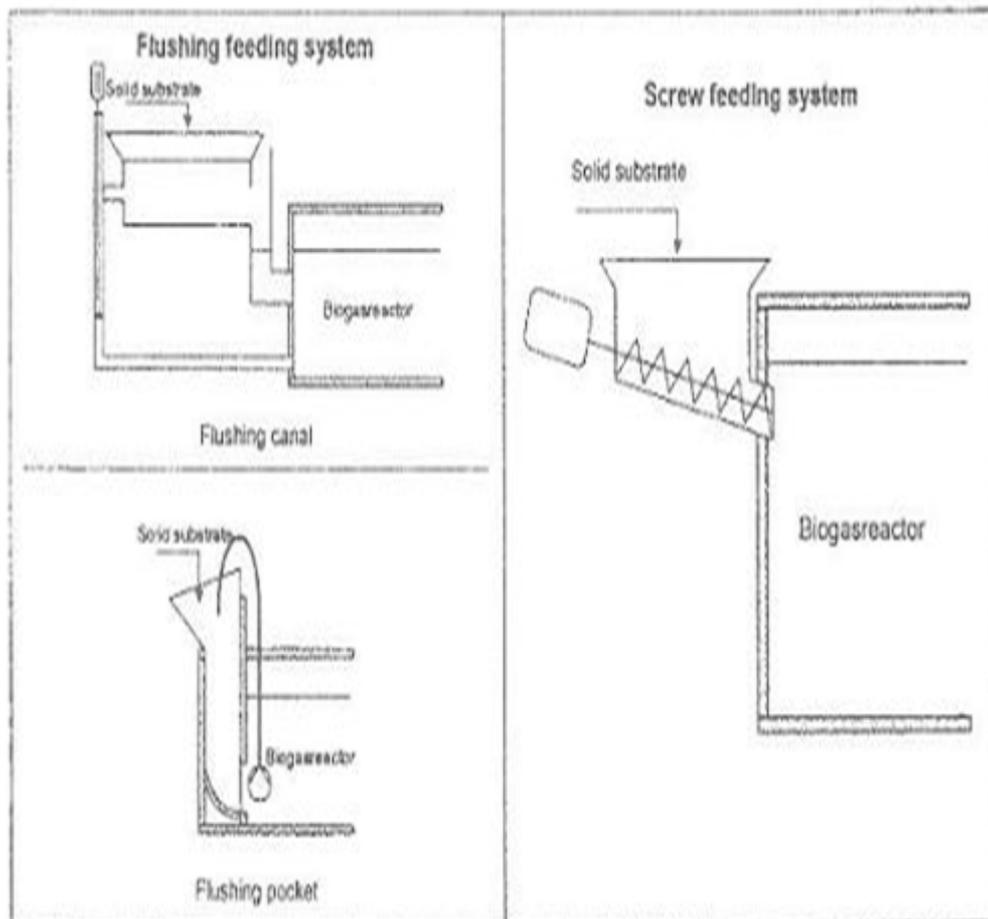


Figura 2. Diferentes procesos para la producción de biogás. Fuente: Weiland (2003).

La fermentación húmeda debe ser ejecutada con sustratos que tengan un rango de 10 % a 13 % de materia seca en sus sólidos totales. En el caso de residuos sólidos agrícolas, deben ser mezclados con agua recirculada de tratamientos anteriores o excretas y pre-acondicionados para su procesamiento. Estas pueden ser suministradas directamente al biodigestor mediante sistemas especiales de carga. La mezcla y el pre-acondicionamiento son aplicados a todos los tipos de sustratos, lo cual hace que la demanda de energía sea alta, ya que este proceso se repite

antes de cada alimentación de sustratos al biodigestor. Muchos sistemas de alimentación al biodigestor han sido creados, los más aplicados son: el sistema flushing (a chorro) y el sistema de tornillo sinfin alimentador. El sistema flushing se utiliza para sustratos de alta densidad, mientras que el sistema de tornillo sinfin es utilizado en ensilajes de materiales con fibras pequeñas, como son el ensilaje de maíz o mezclas de mazorcas de maíz (corncob). La figura 3 presenta algunos sistemas de alimentación para cultivos energéticos sólidos.



**Figura 3. Diferentes sistemas de alimentación de cultivos energéticos sólidos.**  
Fuente: Weiland (2003).

De acuerdo con Weiland (2003), la cadena tecnológica para producir metano a través de cultivos energéticos contiene los pasos siguientes: producción de cultivos energéticos-cosecha-almacenamiento en seco (prensado o embalado)-ensilaje-metanización-producción de biogás-almacenamiento de los residuos tratados-utilización de los residuos tratados.

Para darle cumplimiento a la segunda tarea de investigación planteada en este trabajo, se visitó la

Universidad de Hohenheim, Stuttgart. Allí se pudieron apreciar las investigaciones en ejecución en sus laboratorios y la introducción de algunos de sus resultados investigativos en la producción. Con tal objetivo se visitaron dos plantas de biogás en los alrededores de la ciudad de Stuttgart.

La primera planta de biogás visitada utiliza como sustratos para la producción de biogás, la codigestión de excretas vacunas y cultivos agrícolas diversos, tales como maíz, papas y variedades de

plantas utilizadas como forraje animal. La familia que posee esta instalación mantiene una estrecha relación con los investigadores del tema de biogás de la Universidad de Hohenheim, por lo cual están bien asesorados técnicamente. Según entrevista con el propietario de la planta de biogás, ellos lo utilizan fundamentalmente para la producción de electricidad y calor. Por tal motivo, reciben una bonificación monetaria del gobierno alemán, la cual está recogida en la ley de energía renovable (Gesetz Energie Erneuerbar). Esta instalación tiene un costo aproximado de 45 000 euros. El área de tierras que posee la familia está alrededor de las 80 ha, esta gran extensión de tierras no es común en los agricultores alemanes del antiguo oeste.

La segunda planta visitada, utiliza para la codigestión residuos de alimentos (cantinas), mezclados con cultivos energéticos tales como maíz, variedades de plantas forrajeras y otros. En este caso es necesario un pre-tratamiento de pasteurización antes del proceso de metanización, como se ha explicado con anterioridad. Investigaciones en el campo de la producción de biogás utilizando residuos fisiológicos y de cantina han sido desarrollados por Kujawa-Roeleveld *et al.* (2003), por lo tanto se recomienda revisar esta fuente.

Finalmente se presentan algunas empresas suministradoras de estas tecnologías en Alemania y algunos datos de funcionamiento de una planta de fermentación húmeda:

#### Empresas suministradoras:

agraferm technologies;  
NatUrgas GmbH;  
COWATEC GMBH;  
BIOFERM GmbH;  
Biogas Weser-Ems GmbH and Co.KG;  
MT-Energie GmbH and Co.KG;  
Biogastechnik GmbH;  
WEL:tec BioPower GmbH;  
CentriGas.

Datos de funcionamiento de una planta de fermentación húmeda:

Capacidad = 1,2-2 MW;

Producción de gas = 750 a 850 m<sup>3</sup>/h;  
Producción de electricidad = 1,5–1,8 MWh/d;  
Utilización de calor = 0,1 – 1 MWh;  
Consumo de potencia de la planta = 7,6 %;  
Horas de operación = 22.4–23.1 h;  
Horas a máxima carga = 75-90 %;  
Intervalo de cambio de aceite al motor del generador = 1300 – 1800 h;  
Intervalo para el cambio de bujías = 2500 a 3500 h;  
Volumen de carga = 3,8–4,2 kg de sólidos totales/ m<sup>3</sup> de materia fresca;  
Tiempo de retención = 42 días.  
Estos datos pueden variar en un ligero rango en dependencia del fabricante.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La experiencia alemana de producir metano a través de la codigestión de varios sustratos está asentada en los resultados de sus investigaciones a lo largo de muchos años. Esta tecnología está madura y puede ser introducida en cualquier lugar. El aspecto candente de la misma es la competencia de diversos productos agrícolas tradicionalmente utilizados como alimento animal y humano, con los destinados a producir energía.

La experiencia alemana también ha sido introducida simultáneamente en otros países de Europa, como es el caso de Suiza. Allí también se han producido debates acerca de la factibilidad económica de esta tecnología; en los trabajos de Svensson, L. M. *et al.* (2005) y Svensson L. M. *et al.* (2006) se puede encontrar importante información al respecto.

En las Américas, los Estados Unidos de Norteamérica han motivado a diversos países de la región (México, Brasil, Colombia y otros), a producir alcohol (etanol) a gran escala, utilizando cultivos agrícolas tradicionalmente usados para la alimentación animal y humana (caña de azúcar y maíz). Esto ha traído repercusiones negativas en el aumento del precio de algunos de ellos (maíz), el cual es considerado en Centro y Sur América como su alimento básico.

A comienzos de septiembre de 2007, en España, hubo un incremento de los precios en los alimentos básicos entre un 10 % y 40 % de su valor anterior; esto gravita negativamente sobre las economías

familiares y muy particularmente en aquellas de bajos ingresos. Dentro de los alimentos que han subido su precio, se encuentran el pan, la leche, las carnes, los huevos y los cereales. Lo anterior está motivado por la competencia de los productos agrícolas utilizados como combustibles energéticos con los productos agrícolas destinados a la alimentación humana y animal. En Alemania, los precios de la leche y sus derivados han subido este verano un 17 %. Este resultado negativo, pudiera extenderse como un efecto dominó al resto de toda Europa.

Otras alternativas muy interesantes para la producción de biogás se investigan y desarrollan en la actualidad, dentro de ellas, la descrita por Köttner M. *et al.* (2003), merece la atención y seguimiento de todos los interesados en el tema.

## CONCLUSIONES

1. La experiencia alemana de la construcción y explotación de plantas de biogás a mediana y gran escala; con codigestión de varios sustratos para producir metano con altos rendimientos y aprovechar el mismo para generar electricidad y calor, está basada en un alto desarrollo científico e investigativo en el tema realizado por los alemanes.

2. En la Alemania actual, los alimentos con destino animal y humano están garantizados.

## RECOMENDACIONES

Seguir de cerca la experiencia alemana con vistas a valorar sus aciertos y limitaciones, para extrapolar estas tecnologías, donde sea posible y factible, teniendo siempre en cuenta los puntos de vista económicos y sociales.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Köttner, M.; A. Kaiser y A. M. Viviana: Tecnología de fermentación en seco para la producción de biogás- un mecanismo práctico para el saneamiento de ciclo cerrado, estabilización de residuos y recuperación de nutrientes, 2<sup>do</sup> Simposio internacional sobre saneamiento ecológico, abril del

2003. ECOSAN. Symposium. Luebeck, Alemania, pp. 423-430, 2004.

2. Kujawa-Roeleveld, K.; T. Elmitwalli; van M. Leeuwen; A. Tawfik *et al.*: Digestión anaeróbica de residuos fisiológicos y desperdicios de cocina para la gestión de recursos en el sistema DESAR, 2<sup>do</sup> Simposio internacional sobre saneamiento ecológico, abril de 2003. ECOSAN. Symposium. Luebeck, Alemania, pp. 439-448, 2003.

3. Svensson, L. M.; K. Christensson and L. Björnsson: "Biogas production from crop residues on a farm-scale level: is it economically feasible under conditions in Sweden?" *Bioprocess Biosyst Eng* 28: 139-148, 2005.

4. \_\_\_\_\_: "Biogas production from crop residues on a farm-scale level in Sweden: scale, choice of substrate and utilisation rate most important parameters for financial feasibility." *Bioprocess Biosyst Eng* 29: 137-142, 2006.

5. Weiland, P.: Anaerobic waste digestion in Germany-Status and recent developments." *Biodegradation* 11: 415-421, 2000.

6. \_\_\_\_\_: Production and Energetic Use of Biogas from Energy Crops and Wastes in Germany. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, vol. 109, 2003.

Recibido: 15/abril/2008

Aceptado: 13/enero/2009