



AgEcon SEARCH

RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.

PERSPECTIVAS DE OBTENCIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE DE LA BIOMASA DEL ESTIÉRCOL DEL GANADO LECHERO EN LA REGIÓN CENTRO-SUR DE CHIHUAHUA

Bertha Alicia Rivas Lucero¹, Gabriel Zúñiga Avila¹, Jorge Iram Sáenz Solís¹, Sergio Guerrero Morales¹, Armando Segovia Lerma¹ y Hugo A. Morales Morales¹

Cattle's manure biomass renewable energy obtention perspectives in Central-South Region of Chihuahua

ABSTRACT

Currently almost all energy is provided by fossil fuels that increase greenhouse gas emissions contributing to global warming. These emissions can be reduced with the use of renewable energy produced from biomass such a livestock manure. The manure is raw material for production of electricity and thermal energy. Anaerobic digestion of waste can reduce emissions by capturing methane, a greenhouse gas produced by waste in facilities large and small scale. The South Central region of the state of Chihuahua has the potential for renewable energy production from biomass and waste are approximately 58,000 head of cattle, valuing a daily output of 2,900 m³ of sewage and 10,000 m³ of waste water can cause environmental problems. The estimated biogas production was 1.73 m³ of biogas / cow / day, with an estimated total production of biogas in the region of 25,717,352 and 50,722,754 m³/year kw-h/año save up to \$ 45.143 million pesos in electricity.

Reductions are estimated to 361.843 tons of CO²-Eq. Proposed technologies to small and large scales. The development of renewable energy technologies opens the opportunity for additional revenue-generating waste in the production of electricity or thermal energy, reducing environmental problems may make feasible the adoption of technology to small and large scale for producers.

Keywords: Anaerobic digester, biogas, biomass, renewable energy.

RESUMEN

Actualmente casi la totalidad de la energía es proporcionada por fuentes fósiles que incrementan las emisiones de gases invernadero contribuyendo al calentamiento global. Estas emisiones se pueden reducir con el uso de energía renovable producida a través de la biomasa como el estiércol del ganado. El estiércol es materia prima para la producción de electricidad y energía térmica. La digestión anaeróbica de los desechos puede reducir las emisiones por la captura de metano, un gas invernadero producido por los desechos en instalaciones a pequeña y gran escala. La región Centro-Sur del estado de Chihuahua tiene potencial para la producción de energía renovable a partir de la biomasa como son los desechos de aproximadamente 58,000 cabezas de ganado, valorándose una producción diaria de 2,900 m³ de excretas y 10,000 m³ de aguas residuales que pueden ocasionar problemas ambientales. La producción de biogás calculada fue de 1.73 m³ de biogás/vaca/día, estimándose una producción total de biogás en la región de 25,717,352 m³/año y 50,722,754 kw-h/año ahorrándose hasta \$45,143 millones de pesos en energía eléctrica.

¹ Catedráticos. Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales. Km. 2.5 Carretera Delicias-Rosales. Delicias, Chihuahua. brivas@uach.mx

Se estiman reducciones de hasta 361,843 Ton-Eq de CO². Se proponen tecnologías a pequeña y gran escala. El desarrollo de tecnologías de energía renovable abre la oportunidad para que los desechos generen ingresos adicionales por la producción de energía eléctrica o energía térmica, reduciendo problemas ambientales pudiendo hacer factible la adopción tecnológica a pequeña y gran escala por los productores.

Palabras clave: Digestor anaeróbico, biogás, biomasa, energía renovable.

I. INTRODUCCIÓN

La tierra posee muchas fuentes potenciales de energía renovable, que pueden satisfacer parte de las crecientes demandas de energía. Algunas formas de energía alternativa, como la biomasa, son abundantes localmente. En los países en desarrollo, las fuentes de energía no son los combustibles fósiles, mas bien son las materias primas combustibles, más fáciles de obtener y mucho mas baratas como el estiércol animal, llamada también energía de la biomasa. En la actualidad existe tecnología para producir biogás cuyo componente principal es el metano, un gas invernadero, a través de un proceso llamado digestión anaerobia (Craig, *et. al.* 2007).

La digestión anaerobia de los desechos del ganado a través del uso de digestores anaeróbicos es una manera de tratar el estiércol para prevenir problemas ambientales a los que han conducido las instalaciones ganaderas, y a la vez obtener energía renovable. La explotación de la biomasa tiene el doble beneficio: es un importante recurso de energía renovable y tiende a mejorar el medio ambiente y el clima (EC, 1997).

El aprovechamiento del valor energético de los desechos del ganado es uno de los beneficios que actualmente está teniendo auge en muchas partes del mundo ya que permite aprovechar los residuos de la ganadería. La obtención de biogás se puede llevar a cabo a través de biodigestores a pequeña y gran escala. Se considera que los establos son una fuente rica para producción de energía a través de la generación de metano, un gas de efecto invernadero de gran impacto ambiental, el cual está contenido en el biogás que puede transformarse en energía eléctrica o térmica (Bothi y Aldrich, 2005; EPA, 2006; Anders, 2007).

La generación y uso de biogás como fuente de energía renovable, es una opción rentable, pues permite a las instalaciones ganaderas un ahorro económico al volverse auto sustentable en energía eléctrica y/o calorífica. El reaprovechamiento económico del metano puede colaborar en la reducción de la emisión de gases invernadero, y puede contribuir a reducir el agotamiento de las reservas de combustibles fósiles lo cual trae consigo la adopción de tecnologías acordes a las posibilidades de los productores para el aprovechamiento de los residuos (CETESB, 2002). Lo anterior es una alternativa viable para los productores de leche de la Región Centro-Sur del Estado de Chihuahua para lograr el desarrollo sostenible de la industria lechera y a la vez aprovechar el potencial energético de los desechos del ganado. La producción de energía eléctrica o calorífica generada por los desechos del ganado en los digestores anaeróbicos es posible que haga atractiva la adopción de esta tecnología en la región.

II. MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes

Las evidencias de un aumento en las concentraciones de gases de efecto de invernadero atribuido principalmente a la quema de combustibles fósiles, trajo como resultado la búsqueda de alternativas de reducción de estos gases, lo que llevó a considerar la obtención de energía renovable para crear sistemas sustentables.

Entre las opciones para reducir la dependencia de combustibles fósiles, se reconsideró el aprovechamiento de diversas fuentes de energía renovable, entre ellas la de la biomasa (CONAE, 2009).

La biomasa es la mayor fuente para generación de energía eléctrica con energías renovables, después de la hidroeléctrica. Puede jugar un doble papel en la mitigación de gases de efecto invernadero: como fuente de energía para sustituir los combustibles fósiles. La biomasa incluye diferentes materiales, entre ellos el estiércol. En este sentido, la biomasa y otras energías renovables se están convirtiendo en una solución atractiva para la mitigación de gases invernadero en el mundo. A diferencia de los depósitos de combustibles fósiles, la biomasa es renovable en el sentido de que sólo se necesita un corto período de tiempo para reemplazar lo que se utiliza como un recurso energético. La biomasa puede contribuir significativamente al desarrollo sostenible tanto en los países desarrollados y en desarrollo, siempre que los aspectos relacionados con su explotación sean consideradas cuidadosamente. Otra de las razones por las que el uso de biomasa debe de considerarse, es el crecimiento de la demanda energética en los países en desarrollo, donde las alternativas económicas a menudo no están disponibles (Bilgen., *et al.* 2007).

Las energías renovables son autóctonas, y por lo tanto pueden contribuir a reducir la dependencia de las importaciones energéticas y aumentar la seguridad del suministro. La expectativa de crecimiento en el consumo de energía en muchos países del tercer mundo puede ser satisfecha usando energía renovable. Hoy en día, muchas de las tecnologías de aprovechamiento de energías renovables han madurado y evolucionado, aumentando su confiabilidad y mejorando su rentabilidad para muchas aplicaciones (CONAE, 2009).

2.2. Problemática de los Residuos Ganaderos.

La naturaleza de los sistemas ganaderos significa grandes volúmenes de residuos y elevados riesgos para la salud animal y del hombre; esta gran cantidad de residuos impactan en el suelo, agua y aire. En el suelo, puede haber salinización y toxicidad por elementos que contienen los desechos del ganado. En el agua superficial puede causar eutrofización. En el agua subterránea, puede ser fuente de contaminación por nitratos. En el aire, el estiércol tiene un efecto directo por la producción de gases de invernadero y malos olores (USDA, 1996).

Respecto a este tema a nivel mundial existe una gran preocupación por la generación de gases de efecto invernadero entre los que se encuentra el metano generado por los desechos del ganado, por lo cual se están implementando mecanismos que permita la captura de gases invernadero como el metano. En el protocolo de Kyoto se encuentran los lineamientos de promoción del aprovechamiento de fuentes de energía no convencionales, como la de la biomasa generada en las instalaciones lecheras.

2.3. Uso de digestores anaeróbicos en los establos lecheros para la producción de biogás

El uso de digestores anaeróbicos en los establos lecheros para la producción de energía ha mostrado una continua aceleración en los últimos tiempos. La digestión anaeróbica es un proceso biológico en el cual se convierte los desechos del ganado en “biogás” en un medio libre de oxígeno. El proceso de digestión anaeróbica puede ser replicado y optimizado en un proceso de ingeniería usando estiércol como materia prima. El biogás producido por la digestión anaeróbica típicamente está compuesto por metano (55 a 65 %), dióxido de carbono (35 a 45 %) y trazas de amonio y sulfuro de hidrógeno. El biogás puede ser usado para generar calor y energía eléctrica. Un digestor de estiércol puede redituar económicamente, así como proporcionar beneficios ambientales.

La digestión anaeróbica no es por si misma una práctica de control de la contaminación, pero reduce considerablemente los malos olores y captura gases invernadero (USDA, 1996; Anders, 2007).

Dentro de los gases invernadero, el metano es importante ya que tiene un potencial de calentamiento global 25 veces más que el CO₂. El metano contribuye aproximadamente con el 20 % del efecto del calentamiento global causado por actividades humanas. Los desechos animales y los vertederos representan > 10% de las emisiones de metano debido a las condiciones anaeróbicas (Dalai., *et al.* 2008).

2.4. Alternativas económicas para el metano capturado en instalaciones lecheras.

La cantidad de biogás esperada de un digestor con una eficiencia razonable está relacionada con el contenido de sólidos volátiles. Funk, (2007) menciona que el estiércol de una vaca lechera tiene el potencial para generar alrededor de 2.57 m³ de biogás. Por otro lado Pizarro, *et al.*, (2006) mencionan que la producción de biogás es alrededor de 2 m³/vaca /día. En establos en México se ha reportado desde 1.4 a 2.08 m³/vaca/día por lo cual la producción puede depender de las condiciones particulares de cada lugar y cada establo.

En lo que respecta a la obtención de energía eléctrica de acuerdo al biogás producido Van Horn, *et al.*, (1994) menciona que un establo de 1000 vacas que generan 2000 m³ de biogás/día podrían generar hasta 2141 kw-h/día. Para el cálculo de energía eléctrica, se debe considerar el nivel de impurezas del biogás y tomar en cuenta que el metano, gas altamente combustible contenido en el biogas, tiene un valor de calentamiento aproximado de 994 BTU/ ft³ (USDA, 1996).

El potencial económico proveniente del aprovechamiento del biogás generado en las explotaciones pecuarias a través de la generación de energía eléctrica, representa uno de los mercados más importantes de energías renovables en México. Así mismo representa un potencial energético equivalente al 40% de la capacidad nucleolétrica instalada (Sener, 2006).

2.5. Tipos de digestores anaeróbicos

Los digestores anaeróbicos no son una nueva tecnología, habiendo sido usados a escala de granja por muchos años en países en desarrollo. Sin embargo, se han hecho mejoramientos en los digestores para que sean más compactos, de costo reducido y que sean más fáciles de manejar. A la fecha no hay “un tamaño optimo de digestor que se ajuste a todos” los establos lecheros. Cada situación es única, y un análisis de diseño debe ser llevado a cabo antes de decidir su construcción (Funk, 2007).

La mayoría de los sistemas comerciales que actualmente están operando son de flujo pistón convencionales, flujo pistón verticalmente mezclado, reactores de mezcla completa y lagunas cubiertas. El método de digestión tipo laguna produce biogás de desechos diluidos tal como el efluente de la sala de ordeña y es comúnmente utilizado por ser de los más económicos. Aunque la mayoría de los sistemas están utilizando solo estiércol del ganado, existen nuevas tecnologías que incluyen la introducción de desechos orgánicos de alta fuerza para incrementar la producción de gas por unidad de volumen de reactor (EPA, 2006).

La producción de biogas se puede realizar en biodigestores con diferente capacidad como son las instalaciones de explotación intensiva y las de pequeña capacidad o mini-digestores. Actualmente se conocen varios diseños tradicionales de biodigestores de pequeña capacidad (hasta 50 m³) de producción de biogás, entre los más comunes se encuentran el tipo hindú, el tipo chino y el de polietileno tipo salchicha.

A mediana y gran escala se han desarrollado tecnologías apropiadas para la obtención de biogás. El Cuadro 1 resume las principales tecnologías de digestión anaeróbica, con las especificaciones de cada una para realizar la mejor elección de acuerdo a las condiciones de la instalación lechera (EPA, 2004).

Cuadro 1. Tecnologías de digestión anaeróbica

Características	Laguna cubierta	Completamente mezclado	Flujo Piston	Película fija
Contenedor de digestión	Laguna profunda	Tanque redondeado/cuadrado en/sobre el terreno	Tanque rectangular en el terreno	Tanque sobre el terreno
Nivel de tecnología	Bajo	Medio	Bajo	Medio
Calor adicional	No	Si	Si	No
Sólidos totales	0.5 – 3 %	3 – 10 %	11 -13 %	3%
Características de los sólidos	Fina	Gruesa	Gruesa	Muy Fina
TRH* (Días)	40-60	15+	15+	02-mar
Localización óptima	Clima templado y cálido	Todos los climas	Todos los climas	Clima templado y cálido
*TRH. Tiempo de Retención Hidráulica es el número promedio de días que el estiércol permanece en el digestor				

En la práctica, la implementación de los digestores anaeróbicos es mucho más complicada de lo que parece, como se ha observado en muchos lugares alrededor del mundo por fallas o éxito en el sistema. La mayoría de los proyectos de digestores requieren varios meses o un par de años para ir del concepto a la operación. El costo puede ser un factor determinante para la adopción de esta tecnología (Funk, 2007).

2.6. Costos de los digestores anaeróbicos

El costo de los digestores anaeróbicos para la producción y utilización de biogás variará con el tipo y tamaño del sistema, tipo de operación ganadera y condiciones específicas del sitio (Bothi y Aldrich, 2005). El tipo de digestor acorde a cada situación debe ser cuidadosamente escogido tomando en consideración el aspecto económico, la complejidad de operación, la forma en que se van a recuperar los desechos y las condiciones climáticas de la región (Anders, 2007).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Área de estudio.

El área de estudio comprendió los municipios de Delicias, Rosales, Meoqui y Saucillo. Su localización geográfica se delimita alrededor de la intersección del meridiano 105° 30' de longitud oeste y los 28° 11' de latitud norte, con una altura media sobre el nivel del mar de 1,165 metros. Se ubica dentro del Distrito de Riego 005.

3.2. Datos de Campo.

Se realizó un censo ganadero de los establos lecheros de pequeños productores y de los de explotación intensiva. Así mismo, estas instalaciones ganaderas se ubicaron espacialmente en imágenes de satélite, a través de las coordenadas geográficas (x, y) expresadas en Unidades Transversales de Mercado (UTM); medición que se efectuó usando un posicionador geográfico (GPS). Además, se tomaron en consideración observaciones generales del sitio, en particular la presencia de fuentes de agua superficiales y subterráneas. Los datos TM, se adquirieron del satélite Landsat-TM, correspondiente a la escena 3141 capturada en marzo de 2003, con una resolución espacial de 25 m. Fue procesada y analizada en Idrise32, quedando un tamaño de sub-escena de una superficie de 31 mil hectáreas donde se ubican las explotaciones pecuarias.

3.3. Cálculo de la cantidad de desechos

Para calcular la cantidad de estiércol generado por la población de ganado lechero de la cuenca de la región Centro-Sur, se consideró lo siguiente: Según Nennich *et al.*, (2005) una vaca en producción produce alrededor de 75.2 Kg/día de estiércol, una vaca seca 38.6 kg/día, una vaquilla 24.5 Kg/día y un becerro 12.4 Kg/día. Tarchitsky (2003) menciona que una vaca en producción genera 76 l de estiércol (45 kg de material fecal y 25 l de orina). Sin embargo, DEC (2006) muestra un valor típico de 50 l/vaca/día con un rango de 30-100 l/vaca /día ya que las cantidades de estiércol varían de acuerdo al peso del animal y las condiciones de crianza lo cual debe tomarse en cuenta. En la sala de ordeña, la cantidad de agua por vaca por día generada puede variar entre 350 a 750 l dependiendo del sistema utilizado y eficiencia de manejo (Gallieri, 2002).

3.4. Medida y cálculo de emisiones de metano y energía eléctrica.

El cálculo de las emisiones de metano en $m^3/vaca/día$, reducción de las emisiones (Ton-Eq $CO_2/año$) y producción de energía eléctrica (kw-h) se llevo a cabo utilizando la metodología propuesta por USDA (1996) y por IPCC (1996).

Para el cálculo de biogás y de energía eléctrica USDA (1996) considera los siguientes factores: Unidades animal, producción total de estiércol, producción total de sólidos en el estiércol, producción total de sólidos volátiles del estiércol, % de sólidos, concentración deseada de sólidos alimentados en el digestor (%), entrada diaria de estiércol, producción estimada de biogás y de energía.

El cálculo de las emisiones de metano de acuerdo a IPCC (1996) es como sigue:

1.- Se calcula los factores de emisión

- $Efi = VSi * nm * Boi * 0.67 \text{ Kg/m}^3 * MCFjk * MS \%ijk$
Donde:
- Efi = Factor de emisión (Kg) por tipo de animal (P ej. Vacas lecheras)
- VSi = Sólidos volátiles excretados en kg/día por tipo de animal i (Valor: 5.2)
- nm = Número de animales presentes (Días de residencia en el sistema)
- Boi = Máxima capacidad de producción de metano (m^3/kg de VS) para estiércol producido por tipo de animal (Valor: 0.24).
- 0.67 kg/m^3 . Densidad del metano.
- $MCFjk$ = Factor de conversión de metano para cada sistema de manejo de estiércol j, por región climática k (Valor: 0.9)
- $|MS\%ijk$ = Fracción de estiércol por tipo de animal usando un sistema de manejo

2.- La cantidad de metano emitida puede ser calculada usando:

- $CH_{4a} = Efi * Población / año$

Donde:

- CH_{4a} = Metano producido en kg/año por tipo de animal i
- Efi = Factor de emisión (Kg) por tipo de animal (P ej. Vacas lecheras)
- Población /año = promedio de población anual por tipo de animal

3.- El calculo de las Ton Eq CO₂/año

- $BE = [CH_{4a} * GWPCH_4] / 1000$

Donde:

- BE = Emisiones equivalentes de dióxido de carbono en toneladas métricas por año
- CH_{4a} = Metano producido en kg/año por tipo de animal i
- $GWPCH_4$ = Potencial de calentamiento global de metano (21)

Adicionalmente, ya que la metodología de USDA (1996) propone la producción estimada de energía en BTU, se tomo en cuenta los cálculos propuestos por EPA (2006) para transformarlos a kw-h considerando lo siguiente: Generación de Kw-h/año = Producción de metano*1010 BTU/ft³ de metano*kw-h/3413 BTU*0.25 (eficiencia de conversión de metano a electricidad)*0.9 (eficiencia en la línea). Considerando también que el biogás tiene de 600 BTU/Ft³ a diferencia del metano con 1010 BTU/ft³.

3.5. Análisis de la información

Los datos fueron analizados por municipio, para mostrar el potencial de producción de energía renovable, en virtud de que los fondos de apoyo para el desarrollo de esta tecnología en la región son a través de las asociaciones locales de productores de leche. Así mismo, el análisis de la ubicación de los establos y su relación con la cercanía de los cuerpos de agua fue con la finalidad de enfatizar que de no aprovecharse esta fuente de energía, puede significar riesgo de contaminación de los cuerpos de agua en la región.

3.6 Planteamiento de tecnologías para el aprovechamiento de los desechos del ganado.

En base al censo ganadero realizado se presentan diferentes alternativas para la obtención de energía ya sea a pequeña o gran escala para lograr una buena gestión de los residuos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Datos De campo.

4.1.1. Población de ganado lechero.

De acuerdo a los datos de campo obtenidos, la región cuenta con aproximadamente 58,000 cabezas de ganado lechero de las cuales alrededor de 28,000 son vacas en producción que poseen alrededor de 330 productores en establos pequeños y de explotación intensiva.

La Figura 1 muestra la población de ganado lechero en la región por categorías. Como se puede observar en esta figura la mayor parte del ganado se encuentra localizado en la categoría de establos grandes de explotación intensiva con alrededor de 51 000 animales que poseen solo 33 productores, lo cual es importante ya que se puede detectar claramente los establos que son factibles de obtener los beneficios con la construcción de digestores a gran escala. Por otro lado se identifican los productores pequeños para realizar planteamientos a pequeña escala para la obtención de energía eléctrica ó térmica.

En el análisis de los datos recabados por municipio, se observa la población de ganado lechero que poseen los pequeños productores en el municipio de Delicias es de un 31%, seguido por Rosales con un 29% y Meoqui con un 27%; notándose menor porcentaje en el municipio de Saucillo con un 13%. En lo que respecta a la población de ganado de los grandes productores se observa que el mayor porcentaje de población se encuentra en el municipio de Delicias con un 79 %, seguido por Saucillo con un 13 % y en menor porcentaje el municipio de Rosales con un 3%.

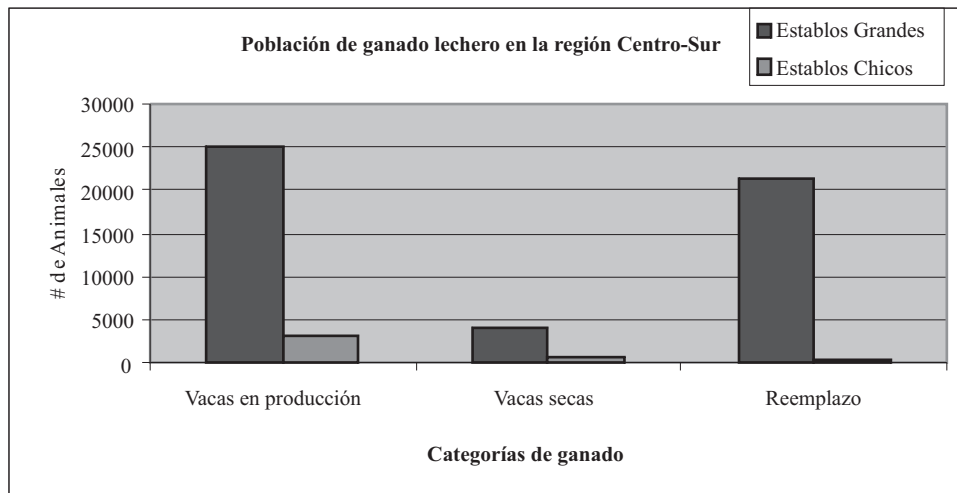


Figura 1. Población de ganado lechero de la región Centro-Sur del Estado de Chihuahua

4.1.2. Distribución espacial de las instalaciones ganaderas lecheras.

Según la imagen de satélite la distribución espacial los establos lecheros en la región, se localizan principalmente dentro de las áreas caracterizadas como de agricultura. La Figura 2 muestra la ubicación de los establos lecheros por municipio (puntos negros) y el conjunto de afluentes en esta porción de la cuenca. En esta figura se observa que la mayor cantidad de ellos se concentra en dos localidades bien definidas: en las riveras de los ríos San Pedro y Conchos. Se estima en promedio una distancia de 1000 metros entre los establos y las corrientes de agua. Aunque en las imágenes de satélite se calculó que existe una distancia menor (137, 164, 193, 320, 520, 777, 961 m) de establos de explotación intensiva a drenes y canales de riego que se conectan con los cuerpos de agua.

Esta distribución espacial pone de manifiesto el riesgo potencial en el ambiente que provocan las grandes concentraciones de purines y estiércol sobre las corrientes de agua de los ríos señalados, así como de los suelos. Sin embargo, el aprovechamiento de esta fuente de energía a través de tecnología ya desarrollada a pequeña y gran escala permitirá evitar los impactos ambientales ya mencionados por esta actividad productiva en la región.

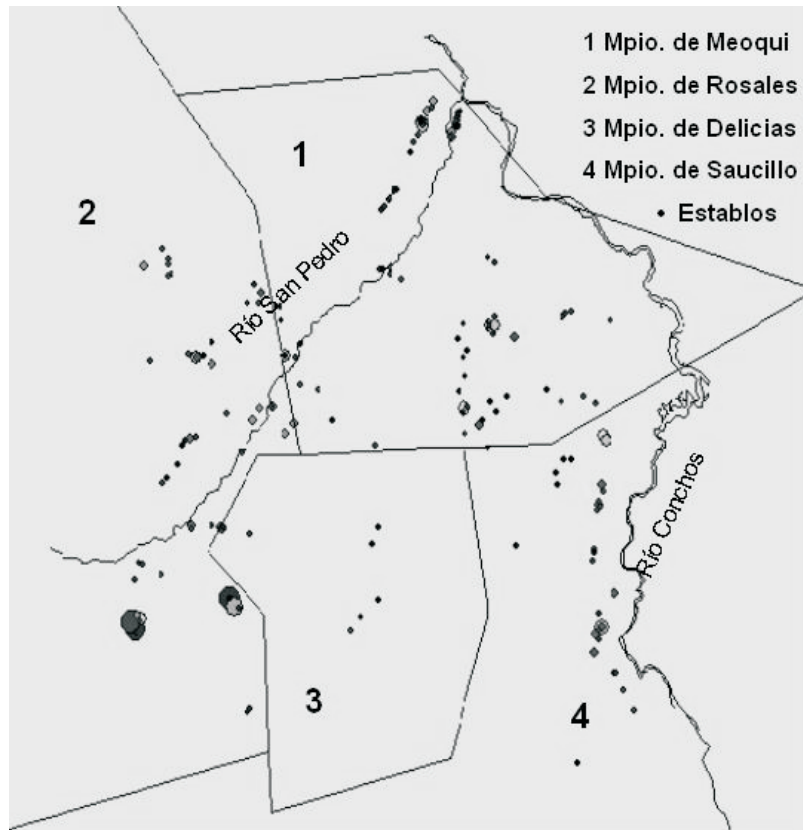


Figura 2.- Distribución de los establos lecheros en la región Centro-Sur del Estado de Chihuahua.

4.2. Calculo de la cantidad de desechos

La estimación de desechos generados por esta población de ganado lechero se muestra en la Tabla 2 según lo mencionado por Tarchitsky (2003) y Nennich *et al.*, (2005).

Tabla 2. Producción diaria de estiércol en la Cuenca Lechera de Delicias.

Edad	# de cabezas de ganado	Producción de desechos (L)
Vacas en producción	28034	2130584
Vacas secas	4782	184585
Reemplazo	23905	585672
Total	56721	2900841

Considerando lo mencionado por Gallieri (2002), el cálculo aproximado de aguas residuales que se que se generan en promedio en la región en la sala de ordeña tomando en cuenta las vacas en producción es alrededor de 12 000 m³ diarios lo cual muestra un gran potencial para su reuso en riego agrícola como fuente de nutrientes.

4.3. Cálculo de emisiones y energía eléctrica

En la Figura 3 se muestra la producción de biogás y reducción de emisiones en Ton-Eq de CO₂ por número de animales en establos lecheros de explotación intensiva, habiéndose obtenido un promedio de 1.73 m³ de metano por vaca por día. De acuerdo a los datos mencionados por Funk (2007) este valor es menor, pero si tomamos en cuenta lo que menciona Pizarro *et al.*, (2006) serían valores aproximados, y el metano calculado en la región estaría por encima de los valores reportados en México.

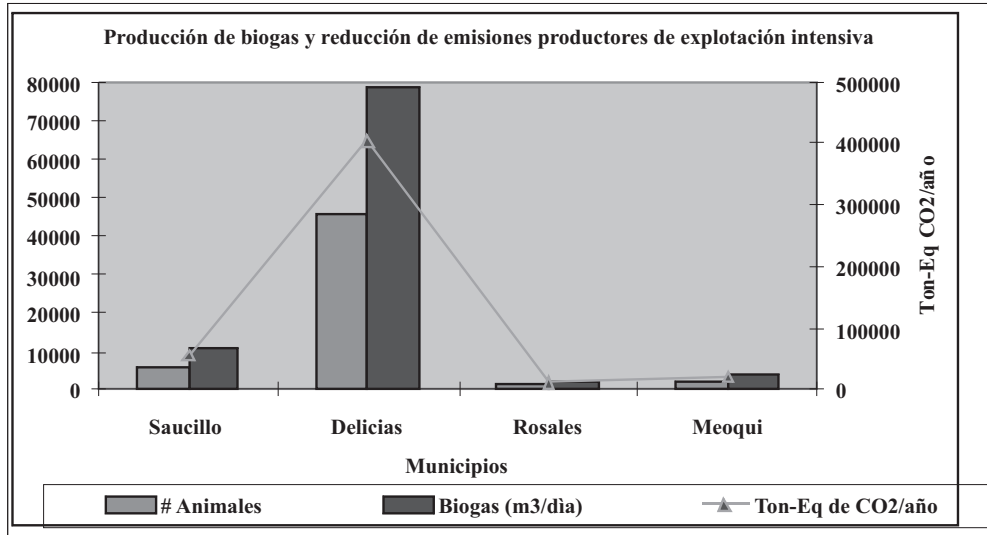


Figura 3. Producción de biogás y reducción de emisiones de productores de explotación intensiva.

En la Figura 4 se observa la contribución de energía de la biomasa que se obtendría en kw-h/año en establos de explotación intensiva, lo cual puede favorecer el ahorro en pesos de energía eléctrica en estas instalaciones ganaderas como lo muestra esta figura.

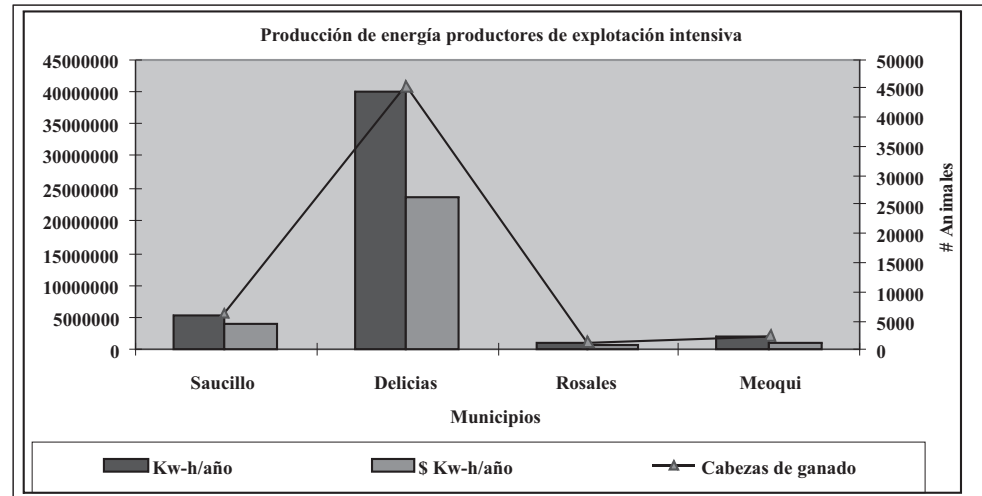


Figura 4. Producción de energía y ahorro en pesos en establos de explotación intensiva.

La contribución de la energía de la biomasa en establos de pequeños productores se observa en la figura 5, la cual muestra que en el municipio de Delicias, se pudieran llegar a generar hasta 3180 m³ de biogás por día lo cual puede ser significativo en familias de escasos recursos, pudiéndose reducir hasta 16,340 Ton-Eq de CO₂ por año con la captura del metano para producir energía en biodigestores a pequeña escala.

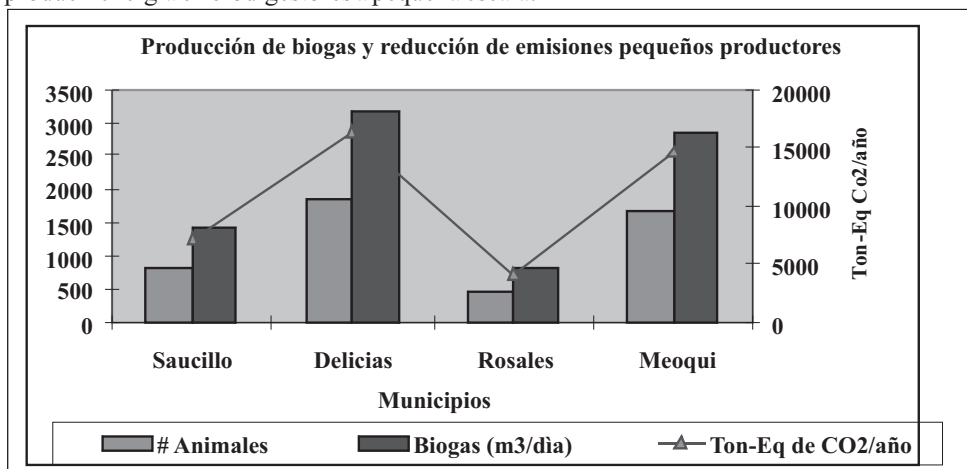


Figura 5. Producción de biogás y reducción de emisiones de pequeños productores.

Por otro lado la Figura 6 muestra el potencial de energía que se podría obtener con los desechos del ganado de los establos de pequeños productores y el ahorro en energía eléctrica. Sin embargo es importante mencionar que en el caso de instalación de biodigestores a pequeña escala de acuerdo con la cantidad de desechos generados, la finalidad principal es la obtención de energía calorífica que será utilizada para cocinar y para obtener luz en lámparas especiales de gas y en muchos casos no se produciría para la generación de energía eléctrica.

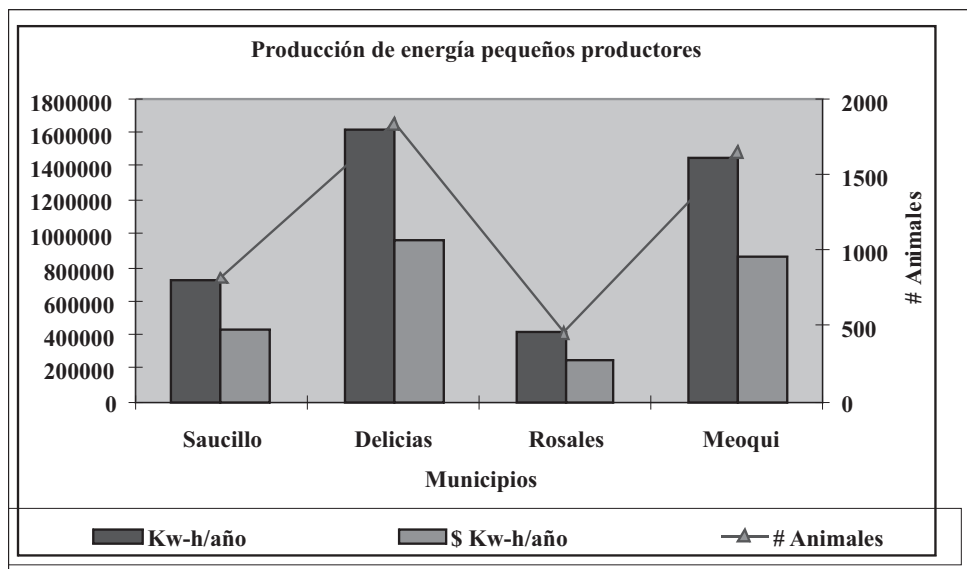


Figura 6. Producción de energía en establos de pequeños productores.

4.4. Planteamiento de tecnologías para el aprovechamiento de los desechos del ganado.

El planteamiento de las opciones de tecnologías a diferente escala, de acuerdo a los desechos generados en cada establo lechero, es un aspecto importante, ya que los productores tendrán que elegir cual es la opción mas viable para el aprovechamiento de la energía de los desechos, sobre todo desde el punto de vista económico y ambiental.

Dentro de las opciones mas viables para los pequeños productores, se presenta la construcción de biodigestores como los de polietileno tipo salchicha que son muy económicos, el tipo Hindú o el tipo chino que tienen un costo inicial alto, pero son mas estables en su funcionamiento. Es importante mencionar que existe una gran variedad de diseños a pequeña escala al alcance para poder escoger la que mas se ajuste a la situación de cada productor.

Las alternativas para los productores de explotación intensiva son el biodigestor tipo laguna que es de los mas económicos y el que se esta implementando mas en las cuencas lecheras de México; el de flujo pistón; el de lecho fijo; el completamente mezclado; o un híbrido de estas tecnologías donde se están aprovechando las ventajas de cada una de estas. A este respecto, se debe tomar en cuenta que ya existen compañías constructoras que se dedican al diseño, construcción y desarrollo de proyectos para la generación de energía, disponibles para los productores.

Es conveniente mencionar que, la operación de biodigestores a mediana y gran escala, requiere de tecnologías para lograr su buen funcionamiento y aprovechamiento óptimo de los desechos. Estas tecnologías incluyen un sistema de conducción de desechos, sedimentador de arenas, pila de mezclado, separador de sólidos y construcción de lagunas secundarias. La figura 7 muestra la propuesta general de un proceso que incluye la infraestructura de en un proyecto de obtención de biogas, para la obtención de energía.

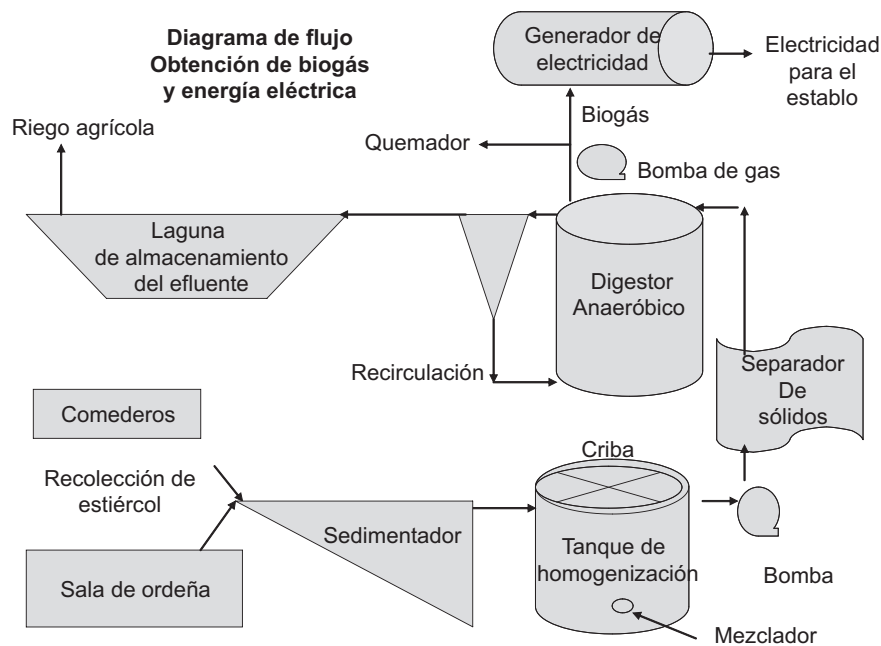


Figura 7. Diagrama de flujo para la obtención de biogas y energía eléctrica.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La información recabada muestra el potencial con que cuenta la región para la obtención de energía a través de los desechos del ganado.
- La distribución espacial de los establos lecheros muestra que se encuentran concentrados la mayor parte en un corredor claramente definido, cerca de los cuerpos de agua.
- La concentración de desechos derivados de estas actividades, se observa que puede ser de grandes volúmenes, que de no ser aprovechados se pueden convertir en un problema ambiental.
- La promoción de las energías renovables requiere iniciativas que abarcan una amplia gama de políticas: energía, medio ambiente, empleo, fiscalidad, competencia, investigación, desarrollo tecnológico y relaciones exteriores.
- El avance de la tecnología asociada al aprovechamiento de las energías renovables y la necesidad de cuidar el ambiente han ubicado a las energías renovables como alternativas a ser consideradas en los planes energéticos y ambientales, presentes y futuros, de cualquier país en el mundo.
- Es necesario impulsar el desarrollo tecnológico a través de un plan de acción integral y promover la incorporación de avances en la materia para el desarrollo de los sistemas energéticos. Esto implica, el aseguramiento de la calidad de estos sistemas, capacitación en el diseño, instalación y mantenimiento de los mismos, así como la promoción de empresas con capacidad de servicio.
- La generación de energía eléctrica puede ser utilizada en su totalidad en los establos y hacerlos auto sostenibles.
- Es importante mencionar que aún para un mismo tamaño de establo los costos pueden variar dependiendo de las condiciones topográficas y de las instalaciones con que cuenta.
- Hay que tomar en cuenta que la producción de metano variará de acuerdo a las condiciones de cada establo y de cada región.
- Es importante la participación del gobierno ya que existe apoyo por parte del Fondo para el Medio Ambiente Mundial a través del Banco Interamericano de Desarrollo con créditos blandos para proyectos que contribuyan a reducir los gases invernadero como el metano y el CO₂ pero deben ser aprobados por el gobierno del país en cuestión. Adicionalmente a este programa se propone la participación de instituciones educativas para conducir la implementación de la puesta en marcha de los biodigestores.
- Para la puesta en marcha se propone la participación de la SEMARNAT, Secretaría de Energía y Secretaría de Agricultura. El objetivo es la promoción y apoyo económico para el uso de tecnologías para la captura de metano producido por el estiércol del ganado lechero mismas que contribuirán a la reducción de gases invernadero (metano y CO₂) mientras se logran beneficios ambientales.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Anders, Scott J. 2007. Biogas production and use on California's dairy farms. A survey of regulatory challenges. EPIC (Energy policy initiatives center). University of San Diego School of law.
2. Bilgen, S. B., S. Keles, and K. Kaygusuz . 2007. The Role of Biomass in Greenhouse Gas Mitigation. *Energy Sources, Part A*, 29:1243–1252, 2007.

3. Bothi, K.L. and B.S. Aldrich. 2005. Feasibility study of a central anaerobic digester for ten dairy farms in Salem N.Y. Manure management program Cornell University. www.manuremanagement.cornell.edu. Accesado el 2 de junio del 2007.
4. CETESB. 2002. Primer Inventario Brasileño de Emisiones Antrópicas de Gases de Efecto Invernadero. Informes de Referencia Emisiones de Metano en el Tratamiento y en la Disposición de Residuos. Compañía de tecnología de saneamiento ambiental. Ministerio de Ciencia y tecnología.
5. CONAE. Las energías renovables en México y el mundo Semblanza. <http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/6942/1/semblanza.pdf>
6. Craig, J.R., D. J. Vaughan y B. J. Skinner. 2007. Recursos de la tierra. Origen, uso e impacto ambiental. Pearson Prentice Hall. Impreso en España.
7. Dalai, R. C., D. E. Allen., J. Livesley y Richards. 2008. Magnitude and biophysical regulators of methane emission and consumption in the Australian agricultural, forest, and submerged landscapes: a review. *Plant Soil* (2008) 309:43–76.
8. DEC Manuals. 2006. Dairying and the environment. Pond Systems. www.dexcel.co.n2/data/usr/ACF143F.pdf Accesado el 18 de junio del 2007.
9. EC, European Commission. 1997. Energy for the future, renewable sources of energy. White Paper for a Community Strategy and Action Plan COM (97) 559 Final Report, Brussels.
10. EPA (Environmental protection Agency). 2006. AgSTAR Digest. www.epa.gov/agstar. Accesado el 14 de junio del 2007.
11. EPA. 2004. A manual for developing biogas systems at comercial faros in the United States. AgStar handbook. 2a. Ed. USA.
12. Funk, Ted. 2007. Anaerobic methane digesters for dairy farms: Are you asking the right questions. University of Illinois.
13. Gallieri, C. 2002. Manejo de aguas residuales. DeLaval. Presentación en power point.
14. IPCC. 1996. Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero - versión revisada en 1996. Manual de referencia. Volumen 3. Organización de las Naciones Unidas.
15. Nennich., T.D., J.H. Harrison., L.M. VanWleringen., D. Meyer., A.J. Heinrichs., W.P. Weiss., N.R. St-Pierre., R.L. Kincaid., D.L. Davidson., y E. Block. 2005. Prediction of manure and nutrient excretion from dairy cattle. *Journal of Dairy science*. 88:3721-3733. American dairy science association.
16. Pizarro. C., W. Mulbry, D. Blersch and P. Kangas. 2006. An economic assessment of algal turf scrubber technology for treatment of dairy manure effluent. *Journal of ecological engineering*. (Article in press) Elsevier.
17. Sener. 2006. secretaría de energía. www.sener.gob.mx
18. Tarchitsky., J. 2003. Reporte productores de Alpura.
19. USDA. United States Department of Agriculture. 1996. Agricultural waste management field handbook. National engineering handbook. Washington D.C.
20. Van Horn., A.C. Wilkie, W. J. Powers and R.A. Nordsted. 1994. Components of dairy manure management systems. *Journal of dairy Science* 77: 2008-2030.

(*Artículo recibido el 15 marzo del 2011 y aceptado para su publicación el 21 de agosto del 2011).