



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.*

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA PUESTA EN MARCHA DE
LOS DIGESTORES ANAERÓBICOS EN ESTABLOS LECHEROS
EN LA CUENCA DE DELICIAS, CHIH.**

Miguel Ángel Casas Prieto¹, Bertha Alicia Rivas Lucero², Manuel Soto Zapata,²
Armando Segovia Lerma², Hugo Armando Morales Morales²
Martha Isela Cuevas González³, Christian Mauricio Keissling Davison.

**Feasibility study for starting anaerobic digestors in dairy farms on
basin in Delicias, Chih (Mexico).**

ABSTRACT

The energetic value as end product is among several benefits from effective waste management programs at intensive feedlots. It is increasing around the world since organic waste is a source of environmental pollution. The biogas can be obtained from simple to complex scale anaerobic digesters. Currently, there is in Mexico official instruments supporting clean technologies to promote the sustainable developing at regional levels. Based on Kyoto Protocol principles, Mexico has been promoting the emissions bonus to reduce the greenhouse gases such as methane from intensive feedlots. It is understood, that feedlots are a rich source of potential green energy. There are 58 000 milking cows in active production at Delicias, Chihuahua region, it is a potential source of green energy unexplored so far. The economic feasibility study was made based on equipment cost and technology required to install an anaerobic lagoon digester. In addition, the potential incomes from green bonus and the commercial value of electricity production were calculated based on kw/h at feedlots of 200, 300, 400, 500, 1 000, 1 500 and 2 000 milking cows. The results shown that the digester cost ranged from \$ 1, 510, 000 to \$1,590, 000 to feedlots from 200 to 2000 milking cows, respectively. When profitability was estimated, at least 300 milking cows are needed to obtain reasonable incomes, but it is not to those feedlots with less than 200 milking cows. The biogas production estimated was 1.73 m³ per cow/day, with a potential production of 17,789 metric tons equivalents of CO₂/year and 1 767 143 kw-h/year to a feedlot of 2000 milking cows. A consideration is that the anaerobic digesters may well contribute to the improvement of the environmental quality at Delicias Chihuahua region taking advantage of the effluent of this process.

Key Words: Anaerobic digester, biogás, carbon credits, feasibility, environmental quality.

RESUMEN

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 una ganadería intensiva. La obtención de biogás se puede llevar a cabo a través de la construcción de biodigestores a pequeña y gran escala. Actualmente existen instrumentos de fomento para la aplicación de tecnologías limpias que contribuyan al desarrollo sustentable de las regiones.

¹Estudiante de maestría en Agronegocios. Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales

²Catedráticos. Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales. Km. 2.5 Carretera Delicias-Rosales. Delicias, Chihuahua.

³Catedrático. Universidad de Baja California Sur.

En México se ha iniciado el intercambio de bonos por emisiones a la atmósfera a raíz del Protocolo de Kyoto que pretende la reducción de gases invernadero como el metano producido en las instalaciones ganaderas. Se considera que los establos son una fuente rica para producción de energía a través de la generación de metano el cual se puede transformar en bonos verdes que pueden entrar en el comercio de emisiones o bien puede transformarse en energía eléctrica. La Cuenca lechera de Delicias cuenta con aproximadamente 58 000 vacas lecheras, lo cual muestra el potencial para la generación de energía térmica y eléctrica a través de la producción de biogás generado por los desechos del ganado. El estudio de factibilidad se llevó a cabo tomando en cuenta los costos del equipo y tecnología necesarios para la puesta en marcha de un digestor anaerobio tipo laguna y las ganancias que se generarían a través de la obtención de bonos de carbono basados en el valor de los bonos en el mercado del carbón y la producción de energía eléctrica de acuerdo al valor de los kw/h en establos de 200, 300, 400, 500, 1000, 1500 y 2000 vacas. Los resultados muestran que el costo del biodigestor osciló entre \$ 1,512,615 a \$1,589,297 para establos de 200 y 2000 vacas respectivamente. Observándose que a partir de 300 vacas es redituable la instalación, no siendo así para un establo de 200 animales. La producción de biogás calculada fue de 1.73 m³ de biogás/vaca/día pudiéndose obtener hasta 17,789 toneladas equivalentes de CO₂/año y 1 767 143 kw-h/año para un establo de 2000 vacas. Se considera que la construcción de digestores anaerobios viene a contribuir al mejoramiento de la calidad ambiental de la región con el aprovechamiento del biogás y con el efluente procedente de este proceso.

Palabras clave: Digestor anaeróbico, biogás, bonos de carbono, factibilidad, calidad ambiental.

INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista ambiental, los sistemas ganaderos de explotación intensiva han mostrado impactos significativos indeseables los cuales dependen de la especie. La incrementada tendencia hacia la ganadería intensiva en muchas partes del mundo ha significado indudables logros socioeconómicos, pero también la producción de mayores volúmenes de residuos por unidad de superficie, lo cual ha traído repercusiones ambientales por la contaminación de agua, suelo y aire por los desechos generados. Estos cambios en la forma de explotación también ha traído consigo cambios en el tratamiento de desechos que ofrecen un considerable potencial con enfoques innovativos para el reuso de agua, recuperación de energía, nutrientes, compuestos orgánicos y reducción de emisiones de gases invernadero (Sukias y Tanner, 2005).

A nivel mundial un gran número de establos lecheros de explotación intensiva están usando los digestores anaeróbicos para reducir problemas ambientales y producir biogás con el estiércol del ganado ya que el este puede ser una fuente significativa de metano, un potente gas invernadero con un potencial de calentamiento global 23 veces más alto que el dióxido de carbono (CO₂), que puede ser usado como combustible para la generación de calor y/o electricidad (Bothi y Aldrich, 2005; EPA, 2006; Anders, 2007).

La generación y uso de biogás como fuente de energía renovable, es una opción con garantía de rentabilidad, pues no sólo resuelve un problema ambiental al momento de reutilizar materia orgánica sino que permite a las instalaciones ganaderas un ahorro económico al volverse auto sustentable en energía eléctrica y/o calorífica. El reaprovechamiento económico del metano generado por los residuos puede colaborar en la reducción de la emisión de gases invernadero. Así mismo, puede contribuir a reducir el agotamiento de las reservas de combustibles fósiles lo cual trae consigo la adopción de tecnologías de acuerdo a las posibilidades de los productores para el aprovechamiento de los residuos.

Sin embargo, este reaprovechamiento solamente resulta viable en determinadas situaciones, en donde exista una alta tasa de producción, aliada a una demanda de esta energía producida, justificada en términos de costo-beneficio (CETESB, 2002).

Lo anterior viene a ser una opción viable para los productores de leche de la Cuenca de la región de Delicias para lograr el desarrollo de una industria lechera ambientalmente sostenible y a la vez aprovechar el potencial energético de los desechos del ganado. La producción de energía eléctrica y la obtención de los bonos de carbono por la captura de gases invernadero como el metano producido por los desechos del ganado en los digestores anaeróbicos es posible que haga factible la adopción de esta tecnología por parte de los productores de leche, por lo cual el propósito de este estudio fue determinar la factibilidad de la construcción de biodigestores en establos lecheros en la región de Delicias para tratar los desechos del ganado lechero y contribuir a resolver la problemática ambiental en la región generada por esta actividad.

MARCO TEÓRICO

La digestión anaeróbica es un proceso biológico en el cual las bacterias convierten los desechos del ganado en "biogás". El biogás 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 o bien se puede usar en enfriadores de absorción para producir refrigeración. Un digestor de estiércol puede redituarse económicamente, así como proporcionar beneficios ambientales (USDA, 1996; Anders, 2007).

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. Algunos progresos se han realizado, pero a la fecha no hay "un tamaño óptimo 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 que operan a temperatura ambiente. El método de digestión tipo laguna produce biogás de desechos diluidos tal como el efluente de la sala de ordeña y es muy comúnmente utilizado por ser de los más económicos. Aunque la mayoría de los sistemas están utilizando solo estiércol del ganado, existen nuevas tecnologías emergentes que incluyen la introducción de desechos orgánicos de alta fuerza para incrementar la producción de gas por unidad de volumen de reactor. La mayoría de estos sistemas se encuentran en la industria lechera en el medio oeste, oeste y noreste de estados Unidos y se estima que producen 248 millones de kw-h anuales (EPA, 2006).

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).

La cantidad de biogás esperada de un digestor operando con una eficiencia razonable está relacionada con el contenido de sólidos volátiles disponibles en el estiércol. Funk, (2007) menciona que el estiércol de una vaca lechera que pesa alrededor de 635 kg podría esperarse que contenga alrededor de 5.40 kg de sólidos volátiles el cual 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 de aproximadamente 2 m³/vaca /día, asumiendo que cada vaca produce 5.73 kg de sólidos volátiles del estiércol por día, y que la digestión anaeróbica produce aproximadamente 350 l de biogás por kg de sólidos volátiles. Según AquaLimpia consultores (2007) la producción de biogás es de 2.08 m³/vaca/día. En establos en México se ha reportado la producción de biogás de alrededor de 1.4 m³/vaca /día por lo cual la producción de biogás puede depender de las condiciones particulares de cada lugar y cada establo. Anders, (2007) menciona que la producción de biogas varía con las condiciones climáticas de la región y las características del digestor.

En lo que respecta a la obtención de energía eléctrica de acuerdo al biogás producido Van Horn *et al.*, (1994) menciona una eficiencia de 1.0 kwh/.934 m³ de biogás, por lo cual 1000 vacas podrían generar 2141 kw-h/día suponiendo que produjeran 2000 m³ de biogás/día. Dado su nivel de impurezas, el biogás crudo tiene relativamente bajo contenido de unidades térmicas británicas (BTU) de 600 a 800 BTU/ft³, comparado con el biometano, el cual tiene un valor de calentamiento de 1000 BTU/ft³, similar al gas natural (Anders, 2007). USDA, (1996) menciona que el metano puro tiene un valor de calentamiento aproximado de 994 BTU/ ft³ y es un gas altamente combustible.

Otra de las alternativas económicas para el metano producido en las instalaciones ganaderas son los bonos de carbono que entran en el comercio de emisiones como parte de los mecanismos del Protocolo de Kyoto para reducción de gases invernadero. El comercio de emisiones es una compra-venta de gases de efecto invernadero transformados en certificados de emisiones excedentes (CER's) o bonos de carbono entre los países participantes. A través de los bonos de carbono el sistema ofrece incentivos económicos para la mejora de la calidad ambiental. Un CER corresponde a una tonelada de dióxido de carbono equivalente, calculada usando los potenciales de calentamiento atmosférico. En el caso de las instalaciones lecheras, estas pueden entrar en el comercio de emisiones al participar en proyectos incluidos en los mecanismos de desarrollo limpio para la captura de metano generado en estas, lo cual puede traer beneficios económicos a los productores lecheros además de los beneficios ambientales ya mencionados (IPCC, 1996).

Actualmente, México desarrolla varios proyectos MDL entre los que se encuentra la gestión de residuos de ganadería donde se tiene estimado que se generarán al 2012 entre 1.2 y 4 millones de toneladas de CO₂eq/a. El potencial económico de más de 26 mil millones de pesos proveniente del aprovechamiento del biogás generado en las explotaciones pecuarias a través de la generación de energía eléctrica y la venta de servicios ambientales (Bonos de Carbono), representa uno de los mercados más importantes de energías renovables en México. Así mismo representa un potencial energético equivalente a la producción de 344 mil millones kw-h en un año que equivale al 40% de la capacidad nucleoelectrónica instalada (Sener, 2006).

MATERIALES Y MÉTODOS

Censo ganadero

Se realizó un censo ganadero para conocer la situación de los establos lecheros de la región de Delicias y establecer las posibilidades para el aprovechamiento del potencial energético de los desechos del ganado. Cabe hacer mención que en este análisis se está contemplando las poblaciones de ganado aledañas a la región de Delicias que comprende los municipios de Rosales, Cárdenas, Meoqui y parte de Saucillo.

Cálculo de las emisiones de metano, energía eléctrica y bonos de carbono

El cálculo de las emisiones de metano en $m^3/vaca/día$ para la conversión de bonos de carbono o CER's (Ton EqCO₂/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.- La cantidad de metano emitida puede ser calculada usando:

$$CH_4a = Efi * Población / año$$

Donde:

CH₄a = 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

2.- 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

CH₄a = Metano producido en kg/año por tipo de animal i

GWPC_{H₄} = 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.

Los cálculos se realizaron para establos de 200, 300, 400, 500, 1000, 1500 y 2000 vacas. El cálculo del beneficio en pesos mexicanos por la comercialización de los bonos de carbono se hizo tomando en cuenta un precio de 150 pesos, aunque estos pueden variar de acuerdo a su valor en el mercado de carbono tomando en cuenta la paridad del peso mexicano con el dólar.

Análisis de Costos

Los costos para la puesta en marcha de los biodigestores para el aprovechamiento de los residuos del ganado lechero van a depender de las condiciones de cada establo por lo cual en el presente análisis de factibilidad se consideraron los costos del sistema de recuperación y conducción de desechos, pila de sedimentación, cribas, pila de bombeo, separador de sólidos, biodigestor y laguna de oxidación, los cuales pueden variar de dimensiones de acuerdo al número de animales en cada establo.

El sistema de recuperación y conducción de desechos incluye comederos, pilas de recuperación y tubería de conducción a la pila de sedimentación.

La pila de sedimentación incluye un diseño tipo rampa para facilitar la limpieza de la pila con la capacidad calculada dependiendo del número de animales.

La pila de bombeo consiste en una pila cilíndrica de concreto con una capacidad estándar para la mayoría de las explotaciones intensivas con mezclador y cribas en la parte superior para atrapar sólidos y bomba que conduce a los desechos al separador de sólidos.

El separador de sólidos consiste en una unidad tipo rampa.

El biodigestor es un sistema tipo laguna cubierto con geomembrana con tubería de extracción de lodos y tubería de conducción de gas.

La laguna de oxidación es tipo facultativa impermeabilizada con geomembrana con la finalidad de recuperar el efluente líquido del biodigestor.

En el análisis de factibilidad no se está incluyendo el costo de la laguna de oxidación ni del sistema para la transformación del biogás a energía eléctrica. Sin embargo el costo total de instalación de un sistema lagunar variará dependiendo del sitio. DEC, (2006) menciona que el costo del sistema lagunar oscila entre \$66,000 y \$132,000 pesos mexicanos. De acuerdo a Durán (2007) el costo del sistema para la transformación a energía eléctrica es de aproximadamente el 30 % del costo del biodigestor.

Análisis de factibilidad

El modelo propuesto para la realización de este estudio de factibilidad es una combinación de elementos técnicos y económicos donde aparecen como aspectos fundamentales la implementación de nuevas técnicas para evitar el deterioro del medio ambiente así mismo analizando la inversión desde el punto de vista de criterios cualitativos y cuantitativos, entre otros elementos (Neuner, 2001).

El análisis de factibilidad económica incluyó análisis de costos y beneficios asociados con la puesta en marcha de los digestores anaeróbicos en establos lecheros.

En este análisis no se contempló un establo en específico. Sin embargo, se consideró que puede ser aplicable a cualquier establo ya que se utilizó un programa en Excel que se generó para calcular los costos y la factibilidad dependiendo del número de animales de la explotación. Para realizar el estudio económico y financiero del proyecto, se tomaron en cuenta: los egresos, es decir las inversiones en activos fijos, diferidos y capital de trabajo, para calcular la cantidad necesaria que cubra los costos del proyecto en el período de ejecución y los costos operacionales que siguen a esta; los *ingresos* para realizar las proyecciones de ventas, y los cálculos de viabilidad del proyecto desde la perspectiva del inversionista.

Finalmente se realizó la evaluación del proyecto, que verifica la viabilidad. Se tomó en cuenta el estudio económico-financiero, y mediante la identificación de los ingresos y egresos del proyecto, se calcularon los indicadores de rentabilidad, el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Censo ganadero

De acuerdo a los datos que fueron obtenidos a través de encuestas aplicadas a los productores de la región, la Cuenca de Delicias 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 la Figura 1 se observa la población de ganado por tamaño de establo. Cabe hacer notar que el rango de 0 a 40 animales son establos con corrales rudimentarios y sin sala de ordeña. En el rango de 41 a 100 generalmente se cuenta con una pequeña sala de ordeña pero no cuenta con un sistema de manejo como en los grandes establos y en el rango de establos que cuenta con mas de 100 cabezas de ganado se cuenta con un sistema de manejo intensivo tecnificado.

Como se puede observar en esta figura la mayor parte del ganado se encuentra localizado en la categoría de mas de 100 cabezas con alrededor de 51 000 animales que poseen solo 33 productores de los cuales sólo cuatro se encuentran en la categoría de 100 a 200; 8 de 201 a 300 y 21 con más de 300, lo cual es importante ya que podemos detectar claramente los establos que son factibles de obtener los beneficios con la construcción de digestores.

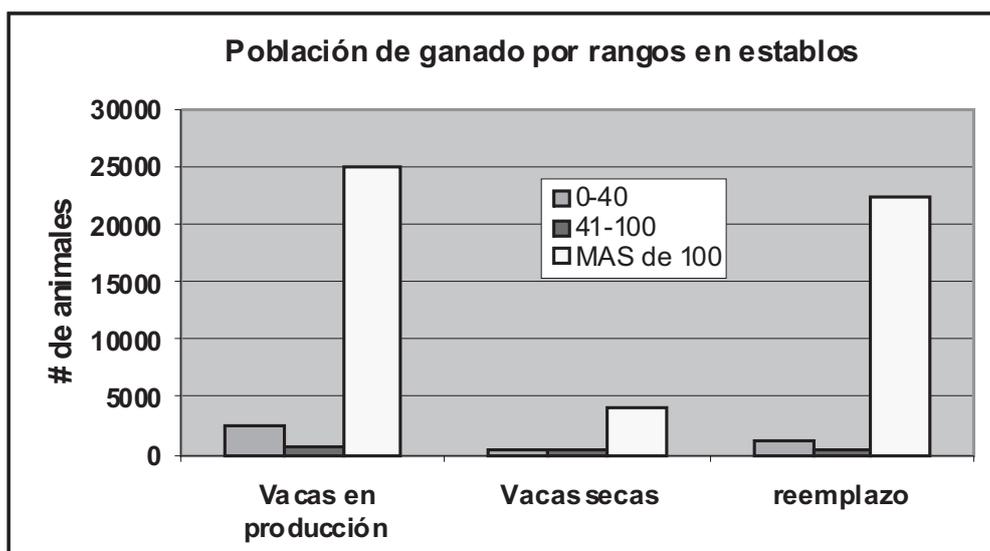


Figura 1.- Población de ganado por tamaño de establos

La Tabla 1 muestra la producción estimada de estiércol en base a la información anterior. Para calcular la cantidad de estiércol generado por la población de ganado de la cuenca de Delicias, 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. Lo anterior muestra el gran potencial que tiene la región para la obtención de biogás a través de los digestores anaeróbicos.

Tabla 1. Producción de estiércol en la Cuenca Lechera de Delicias.

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

Costos totales para la puesta en marcha del digestor

La Figura 2 muestra el costo total para la puesta en marcha de los biodigestores en base al número de vacas. Así mismo en esta figura se observa que no existe mucha variación en el costo de 200 y 2000 vacas ya que se tiene que hacer casi la misma inversión en equipo y tecnologías de apoyo.

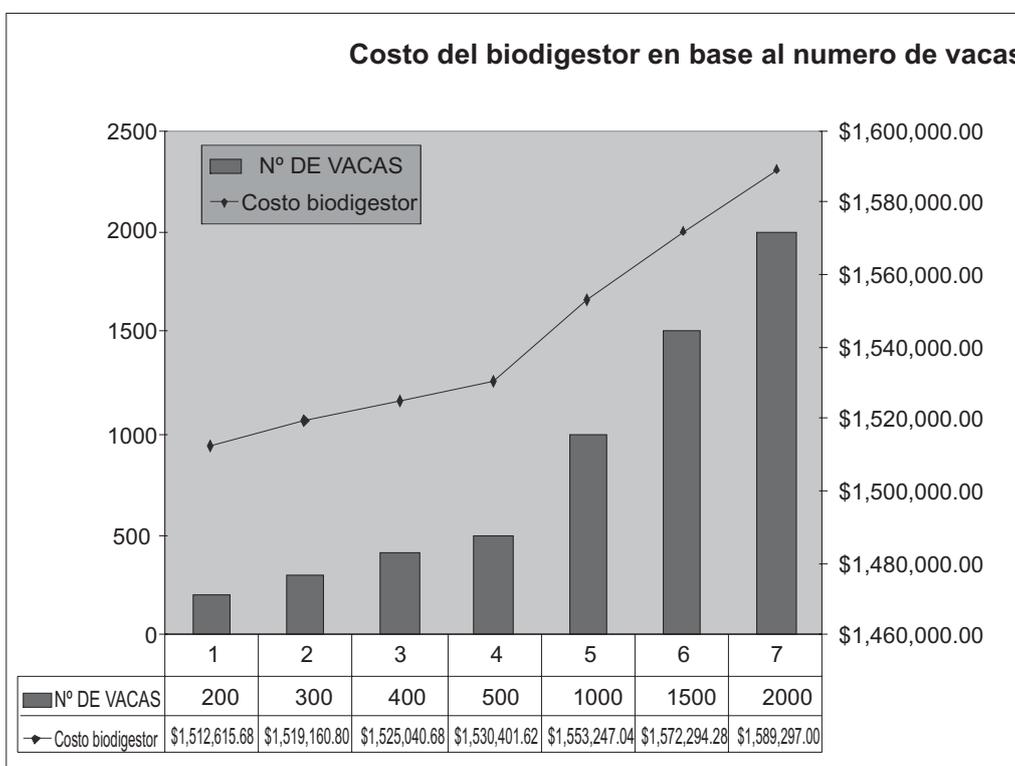


Figura 2.-Costo de digestor anaerobio de acuerdo a número de vacas en establos lecheros.

Calculo de emisiones

En la Figura 3 se muestra la producción de biogás por número de animales en establos lecheros 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.

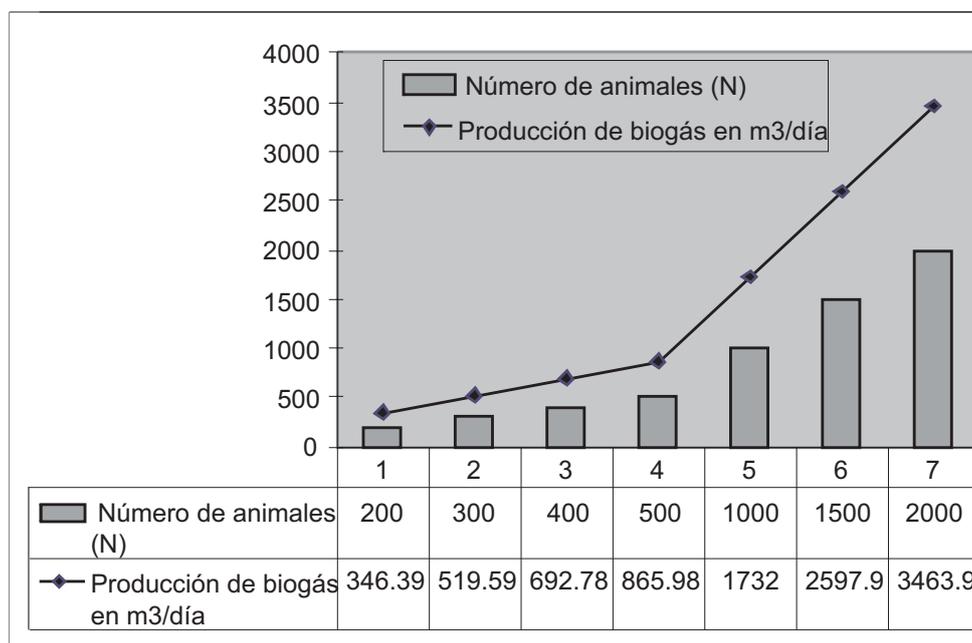


Figura 3. Producción de biogás en base al número de vacas.

Calculo de los bonos de carbono y energía eléctrica

La Figura 4 muestra la cantidad de animales y las Ton Eq CO₂ anual que se genera con el biogás producido en cada tamaño de establo, observamos el total de kw-h/ año que se produce y lo que representa esta cantidad en pesos tomando en cuenta las tarifas actuales de la CFE.

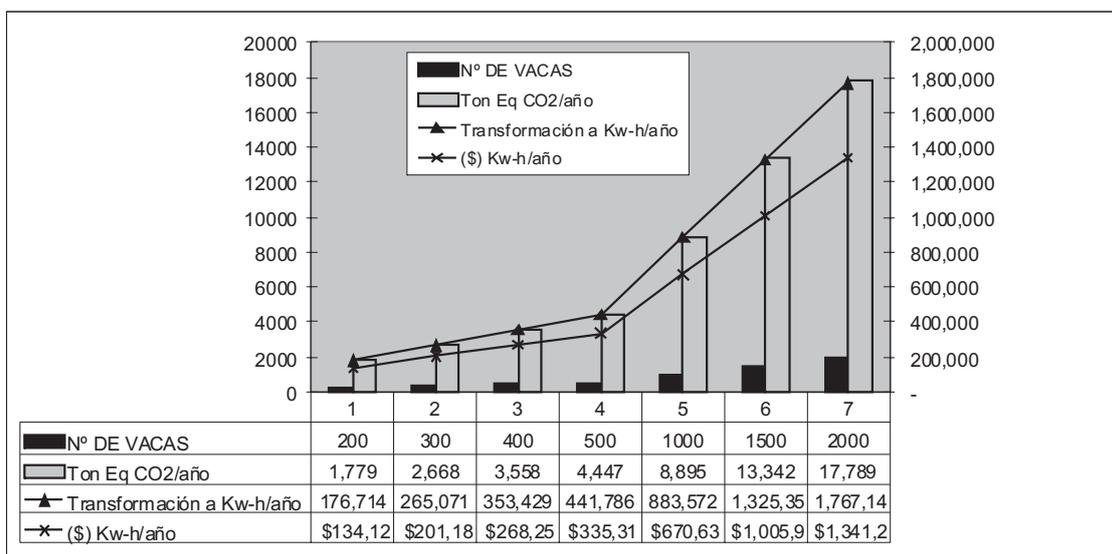


Figura 4.- Ton eq.de Co₂ y energía eléctrica producida en diferente tamaño de establos lecheros.

Análisis de factibilidad

En la Tabla 3 se presentan los aspectos financieros de la instalación de un biodigestor tipo laguna con generación de energía eléctrica y recuperación de CERT's para seis tamaños de establos lecheros: 200, 300, 500, 1000, 1500 y 2000 animales, los cuales son resultado del análisis de factibilidad realizado en el programa de Excel. En esta tabla se presenta la cantidad de vacas de cada establo considerado para hacer el estudio de factibilidad. Se consideraron estos tamaños de establos ya que en el censo ganadero son los rangos en los que se encuentra la mayoría de la población de ganado. Así mismo, se observa que costo del biodigestor varió muy poco. Si observamos el costo para 200 vacas que fue de \$1,512,615 la diferencia es poca en comparación con el de 1,500 o 2000 vacas.

La Tabla 3, también muestra el total de toneladas equivalentes por año de CO₂ que se pueden producir en los diferentes tamaños de establo en base a la producción de 1.73 m³ de biogás/vaca/día lo cual se ve reflejado en pesos en la columna de \$ CER'S/AÑO calculados de acuerdo al valor de los bonos en el mercado del carbón.

La columna transformación a kw-hora por año muestra la cantidad de kw-hora producidos en un año y comparando con la cantidad de kw-h que consumen los establos lecheros en la región comprueba que la producción de energía que se genera con el biodigestor puede cubrir el gasto anual de energía y en algunos casos puede producir excedentes. Lo anterior se ve reflejado en el aspecto económico de los productores ya que como se observa en la columna Kw-hora (\$) expresa la cantidad en pesos mexicanos de los kw-hora al año de acuerdo al costo del kw-h (Tarifa CFE) que pudieran ahorrar los productores utilizando esta fuente alterna de energía.

El cuadro muestra que si la TIR es mayor o igual 13% es factible la construcción de un biodigestor y se observa que solo el tamaño de establo de 200 cabezas de ganado lechero cae debajo de este valor.

El valor presente neto (VPN) es un indicador financiero, cuando este es mayor a 0 indica que el proyecto es factible así que observamos que a partir de 300 vacas el VPN es mayor que 0. Por lo tanto un número menor a esta cantidad no es redituable para que los productores realicen esta inversión.

Tabla 3. Aspectos financieros de la instalación de biodigestores tipo laguna para diferente tamaño de establo.

Nº DE VACAS	Ton Eq CO2/año	Transformación a Kw-hora al año	Kw-hr (\$)	TIR	VPN	(\$) CER'S/AÑO
200	1,778	176,714	\$ 134,126	4%	- 414,066.53	\$ 266,836
300	2,668	265,071	\$ 201,189	13%	550,781.02	\$ 400,255
400	3,557	353,429	\$ 268,252	21%	1,516,176.91	\$ 533,673
500	4,447	441,786	\$ 335,315	28%	2,482,020.85	\$ 667,092
1000	8,894	883,572	\$ 670,631	62%	7,314,651.25	\$1,334,184
1500	13,341	1,325,357	\$ 1,005,946	95%	12,150,169.97	\$2,001,277
2000	17,789	1,767,143	\$ 1,341,262	128%	16,987,537.52	\$2,668,369

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El estudio de factibilidad muestra que es redituable la construcción de digestores anaeróbicos en establos lecheros con más de 300 cabezas de ganado rango dentro del cual se encuentran todas las explotaciones ganaderas de manejo intensivo en la región y que representan el mayor porcentaje de la población lechera.
- Es importante contemplar que el estudio de factibilidad se basó en el beneficio económico por la producción de bonos de carbono los cuales pueden variar de acuerdo a la oferta y la demanda en el mercado del carbón y en un momento dado se puede dejar de obtener este beneficio y se reduciría la factibilidad.
- En lo que respecta a la generación de energía eléctrica esta puede ser utilizada en su totalidad en los establos y hacerlos auto sostenibles. Sin embargo en el caso de excedentes sería conveniente hacer tratos con la Comisión Federal de Electricidad para su comercialización que puede ser a través de cambios en la ley de energía.
- Se recomienda la construcción de una laguna facultativa según el efluente de cada establo, de preferencia impermeabilizada con geomembrana para la reutilización del efluente en riego agrícola.
- 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 ya que en el presente trabajo se hicieron aproximaciones que se pueden concretar para cada establo en particular.
- Hay que tomar en cuenta que la producción de metano variará de acuerdo a las condiciones de cada establo y de cada región y además que los cálculos realizados en el presente proyecto están basados en aproximaciones basadas en un modelo propuesto por USDA (1996) acorde a nuestra región y concuerdan con datos recabados en otros sitios.
- Es importante la participación del gobierno ya que existe apoyo por parte del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (Que depende del banco 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 (grupo multidisciplinario) para conducir la implementación de la puesta en marcha de los biodigestores.
- Para la puesta en marcha se propone la participación de la SEMARNAT (Aspectos ambientales), Secretaría de Energía (Cambio en la legislación de energía) y Secretaría de Agricultura (Debe participar ya que se requiere un programa para aplicación de los residuos sólidos y líquidos (ya tratados) de una manera adecuada). 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.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AquaLimpia consultores. 2007. www.aqualimpia.com. Accesado el 25 de marzo del 2007.
2. 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.
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 d Ciencia y tecnología.
5. DEC Manuals. 2006. Dairying and the environment. Pond systems. www.dexcel.co.n2/data/usr/ACF143F.pdf Accesado el 18 de junio del 2007.
6. Durán., Rangel S.H. 2007. Biogás. Aprovechamiento y generación de electricidad. Experiencias, dimensionamiento y costos. Presentación en diplomado de Firco.
7. EPA (Environmental protection Agency). 2006. AgSTAR Digest. WWW.epa.gov/agstar. Accesado el 14 de junio del 2007.
8. Funk, Ted. 2007. Anaerobic methane digesters for dairy farms: Are you asking the right questions. University of Illinois.
9. 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.
10. 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.
11. Neuner.,John J.W. 2001. Contabilidad de costos. Editorial UTHEA.
12. 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.
13. Sener. 2006. Secretaría de energía. www.sener.gob.mx
14. Sukias.,J. and C. Tanner. 2006. Ponds for livestock wastes. In: Pond treatment technology. Chapter 19. IWA Publishing. (A. Shilton ed). International water association. pp 408-429.
15. Tarchitsky., J. 2003. Reporte productores de Alpura.
16. United States Department of Agriculture. 1996. Agricultural waste management field handbook. national engineering handbook. Washington D.C.
17. 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 en febrero del 2008 y aceptado para su publicación en septiembre del 2008).**