

Revista Electrónica Nova Scientia

Producción potencial de biogás empleando
excretas de ganado porcino en el estado de
Guanajuato

Biogas potentiality production using pig manure
in Guanajuato state

Miguel Martínez Lozano

Escuela de Ingeniería civil, mecánica e industrial, Universidad De La Salle Bajío

México

Miguel Martínez Lozano. E-mail: mmlozanousb@gmail.com

Resumen

La actual reforma energética, así como los cambios mundiales en el uso y obtención de energía eléctrica o calorífica, empleando fuentes alternas, han llevado a replantear y maximizar el uso y explotación del biogás que se obtiene a partir de las excretas de diferentes tipos de ganado. El Estado de Guanajuato, posee un interesante número de cabezas de ganado en el ámbito bovino y porcino, lo que ha originado el planteamiento del presente artículo. En este trabajo, se presenta un estudio, empleando estadísticas locales, conducente a evaluar el potencial energético disponible a partir del uso de las excretas de ganado porcino, para producir Biogás y de ahí, establecer una valoración de la energía eléctrica anual obtenible, el ahorro en equivalente a barriles de petróleo que se podría manejar y la cantidad de gases que se dejarían de añadir a la atmósfera. El estudio se realiza dividiendo el estado por municipios y estableciendo los totales de cada variable de interés en el proceso. Los indicadores muestran que dada la sencillez de implementación de biodigestores para la producción de biogás, esta debe ser una alternativa interesante e importante a desarrollar y potenciar en los próximos años en el país. En el caso particular del Estado de Guanajuato, existen cerca de un millón de cerdos de diferentes edades registrados, pudiendo producir una energía potencial para alimentar a más de 60,000 viviendas estándar.

Palabras clave: biogás, excretas porcinas, fuentes alternas de energía, biodigestores anaeróbicos, reforma energética

Recepción: 09-01-2015

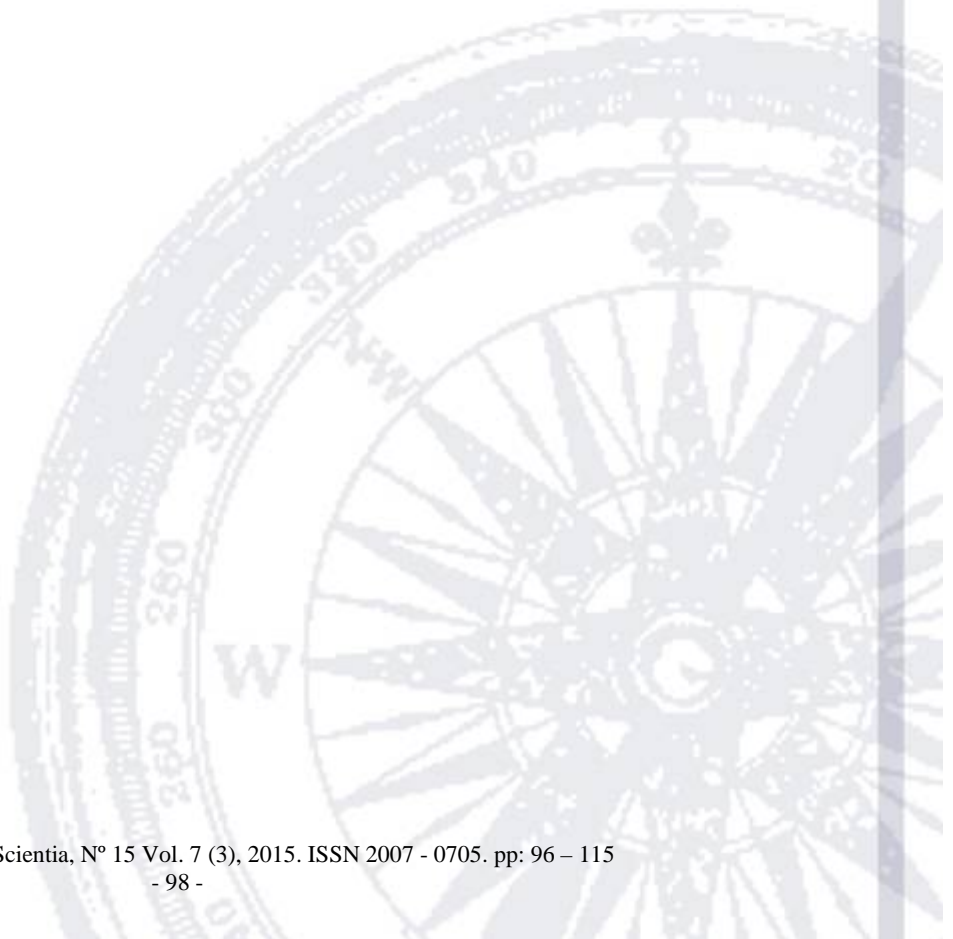
Aceptación: 22-08-2015

Abstract

The current energetic reform, as well as the world changes in the using and obtaining of electric and calorific energies, using alternative sources, has taken to replant and maximize the use and exploitation of biogas which is obtained from the manure of different types of cattle. The state of Guanajuato, owns an interesting number of cattle in the scope of bovine and pigs, which has originated the approach of the present article. In this work, it is presented a study in order to evaluate the energetic potentiality of the use of pig manures, to produce biogas and from that

point to establish the electrical energy obtainable per year and the savings in the equivalent of oil barrels that could be obtained and the savings in gases like CO₂. The study is made by dividing the state by municipalities and establishing the totals of every interest variable in the process. The indicators show that given the simplicity of biodigestors implementation to produce biogas, this is an interesting and important alternative to develop in the next years in the country. Particularly, the State of Guanajuato, have near of one million of pigs registered; with this quantity is possible to obtain potentially enough energy to supply the requirements of an approximate of 60,000 standard homes in México.

Keywords: biogas, pig manure, alternative sources of energy, anaerobic biodigesters, energetic reform



Introducción

Actualmente, se están invirtiendo grandes cantidades de dinero y tiempo a nivel mundial para estudiar y desarrollar formas alternas de energía, especialmente limpias y de bajo costo.

En México, existe una amplia diversidad de formas de energía disponibles: solar, eólica, etc., pero al tener una explotación masiva ganadera, es claro pensar en el aprovechamiento de todos sus subproductos, como podrían ser sus excretas. Los productos residuales de origen animal o vegetal, pueden ser aprovechados en su etapa final antes de cerrar el ciclo del carbono, extrayendo energía primaria de ellos, en forma de biocombustibles. Esta materia prima, recibe el nombre de biomasa y puede ser de origen vegetal o animal (González J., 2010).

En países en desarrollo y con una visión social clara en el uso de los recursos disponibles, el uso adecuado de la biomasa para la producción energética alternativa, debe provenir de aquellos recursos residuales que se encuentran para iniciar su fase de descomposición y no emplear recursos aprovechables con propósitos más importantes como la alimentación humana. En el caso particular de México, hablar de desarrollo de fuentes de energía alternativa, es recurrir al plan de prospectivas (SENER, 2013), en que se espera al 2025, un 35% de la energía debe ser proveniente de fuentes renovables.

Actualmente la generación de electricidad en México, es la segunda responsable en la producción de GEI, Gases de Efecto Invernadero, especialmente CO₂ y menos del 10% de las fuentes primarias de energía son limpias o no basadas en combustibles fósiles (Martínez, 2015). El reto del futuro se basa en varias premisas que deben ser tomadas en cuenta para justificar el aprovechamiento integral de todas las fuentes primarias disponibles actualmente y que no están siendo correctamente aprovechadas: La reducción en el descubrimiento en cantidad y calidad de yacimientos de combustibles fósiles, la meta de reducir la producción de CO₂/kWh generado, la reducción de consumo interno de combustibles exportables como fuentes de ingresos al país y por último, reducción de costos asociados.

El futuro de la electricidad (Martínez-Lozano, 2015) y (Pao HT, 2013) está en la implementación de variadas y pequeñas fuentes o micro fuentes generadoras locales que produzcan un cambio en la visión del sistema eléctrico actual, convirtiéndolo de centralizado a distribuido, es decir, que las fuentes de generación van a estar dispersas en pequeña o mediana escala a lo largo de la geografía y en función de la ubicación de los recursos primarios utilizables

para su producción. Por tanto, las zonas de producción animal, especialmente las porcinas, son una oportunidad de desarrollo para este tipo de soluciones.

Al hablar de biocombustibles, se está hablando de obtener energía química primaria a partir de materia orgánica, biomasa en general. Esta forma parte de un ciclo natural en el que la principal ventaja es que al aprovecharse se reduce la cantidad de metano que en procesos agropecuarios masivos se produce y convertirla en energía eléctrica para su aprovechamiento local. En la figura 1, se puede observar como se lleva a cabo el proceso de cambio, desde su producción hasta su retorno al medio ambiente, de la materia orgánica.

A diferencia de los combustibles provenientes de fuentes de hidrocarburos, los obtenidos a partir de la biomasa, no modifican la cantidad de CO_2 de la atmósfera, ya que provienen de un ciclo cerrado, como el mostrado en la figura 1. Si bien, existen otros subproductos que forman parte de los ingredientes de una lluvia ácida (óxidos de azufre, por ejemplo), las cantidades liberadas en el proceso de conversión, no son para nada significativas como para ser causantes de ese efecto (González J., 2010).

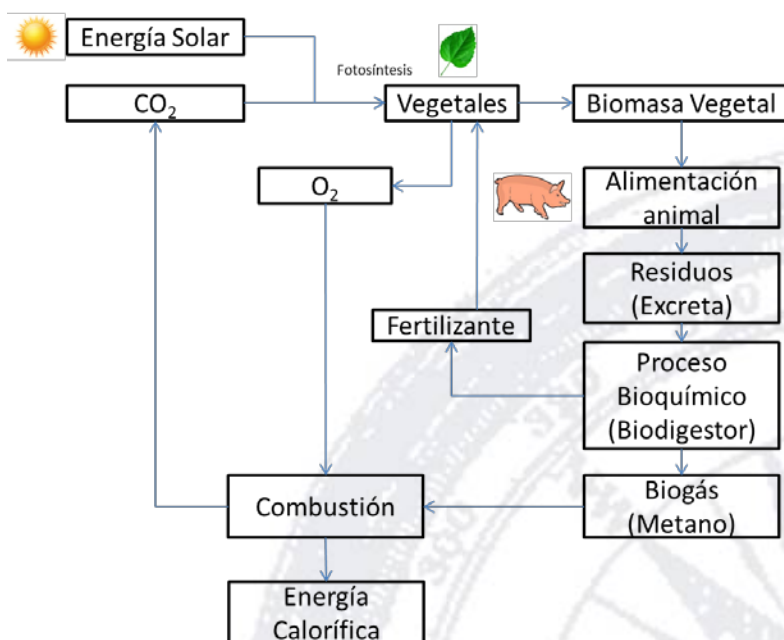


Fig. 1. Ciclo de carbono resumido en un proceso de extracción de energía de biomasa animal.

En los procesos de descomposición natural, la biomasa libera metano (CH_4), el metano es un gas con consecuencias severas para el efecto invernadero, teniendo un potencia de calentamiento global de hasta 23 veces mayor que el del CO_2 (Campero, Kristine, Cuppens, Mizme, 2008). Por ello, es medioambientalmente razonable su aprovechamiento energético.

El proceso de biodigestión está compuesto por cuatro etapas principales en la descomposición de la materia orgánica: hidrólisis, etapa fermentativa o acidogénica, etapa acetogénica y etapa metanogénica. El biogás resultante está compuesto de entre 55-70% de Metano (CH_4), un 30-45% de CO_2 y trazas de otros gases (Wofang S, et al, 2011).

El principal componente del biocombustible es el metano, el cual es ligeramente más liviano que al aire y tiene una temperatura de ignición promedio de 700°C y la llama alcanza alrededor de 850°C . Este biogás, según (González J, 2010), puede llegar a tener un contenido energético de 20 a 25 MJ/m^3 , mientras que el gas natural ronda los 38 MJ/m^3 ; esto se debe al contenido de CO_2 y otras trazas de ácido sulfídrico, hidrógeno y nitrógeno.

Por tanto, la energía obtenible de un proceso de aprovechamiento de biomasa de origen animal, puede considerarse “limpia” (Deutsches BiomasseForschungsZentrum, 2010) y si además se le añade el bajo costo de su implementación en comparación con la obtención de un barril de petróleo equivalente estándar (Wofang S., et al, 2011), se tiene en manos una alternativa de interés para ser desarrollada a gran escala, especialmente en aquellas localizaciones geográficas con explotación masiva de ganado.

En la actualidad, (S.J. Gerssen-Gondelach, 2014) y (Martínez-Lozano, 2015) establecen que el costo de implementación de biodigestores es más económico que el representado por fuentes fósiles convencionales: ciclo combinado, carbón, etc., aún con el precio del petróleo por debajo de los 50 $\text{US}\$/\text{barril}$ y su tecnología (Antonio Colmenar-Santos, 2015) está suficientemente validada como para una explotación masiva a mínimo costo de operación y mantenimiento.

El ganado porcino, a diferencia del bovino, siendo ambos los de mayor explotación y por tanto con más ventajas para el propósito energético, está mayormente concentrado en corrales y no pasta fuera de su espacio confinado, por lo que la recolección de las excretas diarias es más fácil, económica y manejable. Por ello, este trabajo considera que esta fuente de excreta animal es la más importante y viable de manejar. La implementación de los biodigestores anaeróbicos, se puede ejecutar debajo de los corrales o en alguna extensión a los alrededores, como se puede visualizar en la figura 2 y, su proceso y manejo permite obtener dos subproductos clave para el futuro de este aprovechamiento: biometano y fertilizante de alta calidad y bajo contenido microbiano (González J, 2010).

La población porcícola en México es de alrededor de 15.4 millones de cabezas (INEGI, 2012), de las cuales en el estado de Guanajuato se encuentran 965,863 cabezas, lo que representa el 6.27% nacional. Este porcentaje es interesante dadas las proporciones geográficas del estado y sus necesidades energéticas. El Estado de Guanajuato representa en 1.6% de la superficie de México y posee menos del 5% de la población del país.

En la figura 3, se presenta la distribución de granjas porcícolas en México (Red Mexicana de Bionenergía, 2012), con gran potencial para poder instalar biodigestores y extraer biogás. Guanajuato se encuentra en dicha clasificación, entre los estados con mayor potencial.



Fig. 2. Biodigestor de gran dimensión para una granja porcina (Red Mexicana de Bioenergía, 2012).



Fig. 3 Distribución de porcino en México (Red Mexicana de Bioenergía, 2012).

El objetivo del presente artículo, es calcular la cantidad de biogás potencialmente extraíble de las excretas de puercos, mediante el empleo de biodigestores en el Estado de Guanajuato, manejando datos estadísticos de las variables de interés, para obtener el equivalente energético eléctrico y/o calorífico debido a la conversión del biometano.

Para ello, se debe seguir una metodología sistemática que permita cuantificar y manejar las cantidades de interés de una manera sencilla para que pueda ser repetida y empleada por entes adecuados para establecer las potencialidades de explotación y su valoración técnica y económica para su desarrollo

El uso final del biogás es muy diverso y puede ser empleado para generar calor, mediante calderas, estufas o para generar electricidad, mediante generadores eléctricos que emplean motores de combustión interna. Igualmente, desde el punto de vista de análisis (S.J. Gerssen-Gondelach, 2014), se puede comparar con un barril equivalente de petróleo, por lo que se estudiará la cantidad de barriles equivalente que se producirían mediante la explotación energética de las excretas porcinas.

Método

En el estado de Guanajuato existe un censo ganadero y de producción agropecuaria que indica en el caso particular de interés, la cantidad de animales por tipo que son criados en granjas y ranchos registrados (INEGI, 2012). Dicha data reporta la distribución geográfica por municipio y el total, pero no clasifica o subclasifica a los animales por tipo de uso, edad, peso, etc.

En la figura 4, se muestra la división territorial del estado de Guanajuato, obtenida por el INEGI (INEGI, 2014).

Guanajuato
División municipal



001	Abasolo
002	Acámbaro
003	San Miguel de Allende
004	Apaseo el Alto
005	Apaseo el Grande
006	Atarjea
007	Celaya
008	Manuel Doblado
009	Comonfort
010	Coroneo
011	Cortazar
012	Cuerármaro
013	Doctor Mora
014	Dolores Hidalgo
015	Guanajuato
016	Huanimá
017	Irapuato
018	Jaral del Progreso
019	Jerécuaro
020	León
021	Moroleón
022	Ocampo
023	Pénjamo
024	Pueblo Nuevo
025	Purisima del Rincón
026	Romita
027	Salamanca
028	Salvatierra
029	San Diego de la Unión
030	San Felipe
031	San Francisco del Rincón
032	San José Iturbide
033	San Luis de la Paz
034	Santa Catarina
035	Santa Cruz de Juventino Rosas
036	Santiago Maravatío
037	Silao
038	Tarandacua
039	Tarímoro
040	Tierra Blanca
041	Uriangato
042	Valle de Santiago
043	Victoria
044	Villagrán
045	Xichú
046	Yuriria

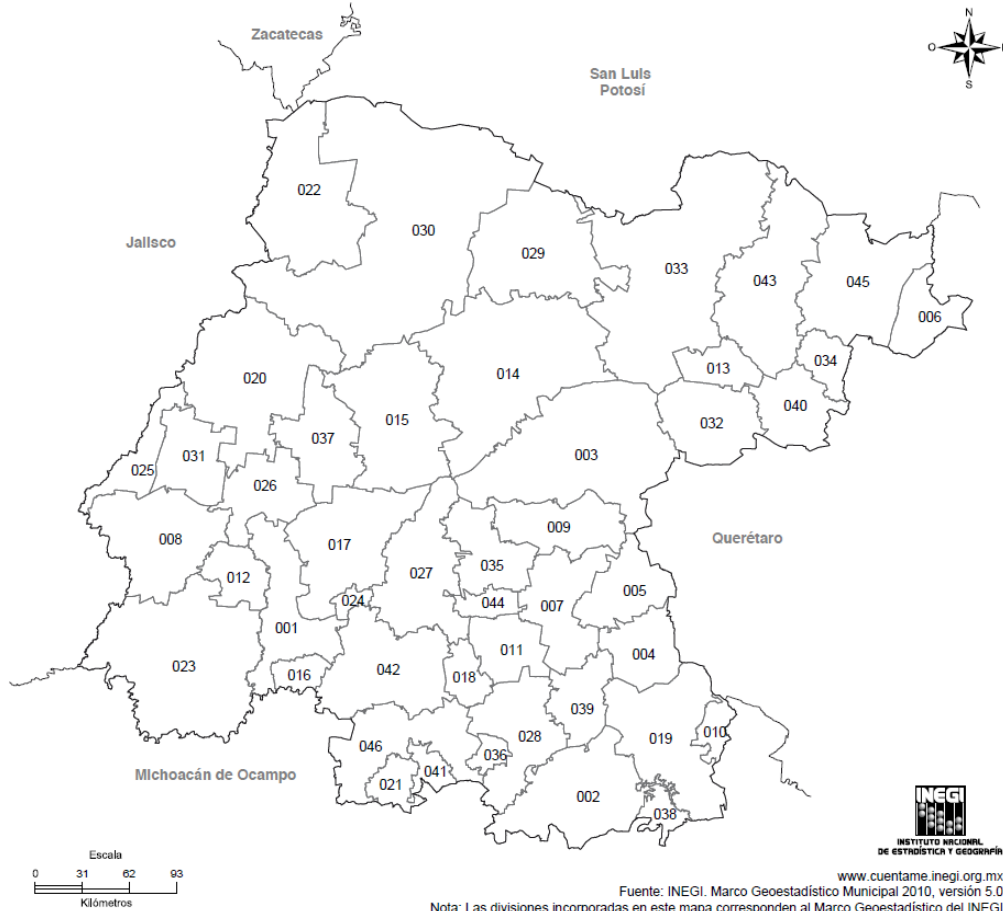


Fig. 4. Mapa geográfico del Estado de Guanajuato en México (INEGI, 2014).

Si bien la cantidad de animales es un dato importante de manejar con precisión, la clasificación por edad es vital para la estimación correcta de la cantidad de excreta que se puede producir, ya que es a partir de la excreta que se puede calcular el volumen de biogás obtenible en el proceso de biodigestion anaerobia.

En general, los puercos para análisis estadísticos se clasifican por edad, tal como lo muestra la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación por edad (Vera-Romero, 2014)

CLASIFICACIÓN	TIPO
Menores de 8 semanas de edad	Lechón (Pequeño)
Entre 2 y 4 meses de edad	Mediano
Sementales	Grande
Vientres	Grande
Mayores a 6 meses de edad	Grande

Para la clasificación por edades en el estado de Guanajuato, se realizaron encuestas a propietarios de varios ranchos grandes en distintos municipios de la región, Pénjamo, San Miguel de Allende e Irapuato. Se visitaron varias granjas en los municipios con mayor cantidad de animales según (INEGI, 2014), tomando en cuenta que tuvieran más de diez mil cabezas de animales y que fuera el ramo porcino su principal negocio. Las granjas consideradas para las estadísticas totalizaron 130,000 puercos, representado un porcentaje del 13% respecto al número de animales existentes según las estadísticas del INEGI. Tomando como generalizables dichos datos, se aplicó una división porcentual al grupo completo de puercos. La clasificación resultante se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Porcentaje porcícola clasificado por tipo.

CLASIFICACION	TIPO	DISTRIBUCION
Menores de 8 semanas de edad	Lechón (Pequeño)	39.312%
Entre 2 y 4 meses de edad	Mediano	46.683%
Sementales	Grande	0.4914%
Vientres	Grande	10.319%
Mayores a 6 meses de edad	Grande	3.194%

A partir de la edad, es posible estimar la cantidad de excreta diaria que produce un cerdo. De diferentes estudios realizados en campo (Vera-Romero, I. et al, 2014), (Martínez C., 2007) y (Arias L., et al, 2012), se obtienen los datos clasificados por edad, como los muestra la tabla 3. Estos datos contabilizan la cantidad de excreta diaria en kg/día. Esa excreta para ser descompuesta en un biodigestor anaerobio, debe estar con alto contenido de agua, para lo cual se mezcla con una proporción de 1:1 de agua/excreta. El agua a emplear, no tiene que ser limpia y puede ser la procedente del proceso de limpieza del corral o de otros subprocesos de la granja o externos. Incluso, para mejorar la eficiencia del biodigestor, se mezcla con otros elementos residuales de origen animal o vegetal e incluso basura orgánica generada por humanos.

Tabla 3. Producción promedio de estiércol de acuerdo al tiempo de estación (Vera-Romero, I. et al, 2014)**PRODUCCION DE EXCRETAS DIARIAS
(Kg/día)**

CLASIFICACION	CANTIDAD
Pequeño	1
Mediano	1,5
Grande	2

Adicionalmente, la producción de biogás depende de varios factores de control dentro del biodigestor, como la temperatura del proceso, el contenido de agua y aditivos. La cantidad precisa de biogás que se produce en un biodigestor, entonces es específico de esa aplicación; para el objetivo de este estudio, dadas las condiciones climatológicas medias del estado de Guanajuato, es posible obtener un valor estimativo basándose en la literatura (Vera-Romero, I. et al, 2014), (Martínez C., 2007). Con este valor aproximado, es viable automatizar la estimación de producción de biogás y por tanto emplearlo como dato para estudiar su explotación.

Tabla 4. Producción de Biogás por edad del animal**Producción de Biogás**

CLASIFICACION	Biogas (m ³ /kg)	Biogas (m ³ /día)
Pequeño	0.07	0.07
Mediano	0.07	0.11
Grande	0.07	0.14

El biogás obtenido necesita convertirse de energía química a energía calorífica, para poder tener un uso actual (en calderas, estufas o motores de combustión interna). Asumiendo un control de las variables del proceso de biodigestión, se podría considerar que en media el contenido energético de dicha mezcla es de 20 MJ/m³, lo cual mediante un cambio de unidades significa 5.56 kWh/m³, o de manera similar, cada m³ de biogás representa 0.0033 barriles equivalentes de petróleo (BEP) o 305.8 m³ de biogás poseen el contenido energético de un BEP.

Apartir de esos datos, se pueden estimar los potenciales energéticos que posee el estado de Guanajuato ante una explotación masiva de biomasa animal (porcina), mediante biodigestores anaeróbicos.

Si se estima un uso como combustible para generar electricidad, se deben considerar algunos aspectos adicionales como el tipo de máquina que se empleará para la conversión química-termica-mecánica-eléctrica. Como el ciclo de conversión es largo, la eficiencia a considerar es baja. Existe una primera alternativa económica para dicha conversión, que es empleando motores de combustión interna de gas y acoplarles un generador eléctrico; el otro caso, para producción en mayor escala, es el empleo de una turbina de gas. En ambos casos, las eficiencias máximas no sobrepasan del 30% (Ferran R, 2013). Por tanto, se tomará este número como un buen aproximado para la estimación correspondiente. Eso implica que por cada metro cúbico de biogás, se pueden obtener 1.67 kWh de electricidad.

La valoración de estas variables se va a aplicar al caso del Estado Guanajuato y empleando las estadísticas del INEGI y la metodología evaluativa explicada en este aparte, se estimarán por municipio y los totales de la energía obtenible al desarrollar el aprovechamiento del biogás producible mediante excretas de ganado porcino.

Una última variable de interés desde el punto de vista de análisis es las emisiones de CO₂. Como ya fue comentado, la combustión de biogás produce CO₂, pero este forma parte del ciclo de carbono, por lo que no se adiciona al atmosférico, sino que forma parte de este. Por ello, podría considerarse analíticamente como una fuente con cero emisiones de CO₂. Sin embargo, en México, producir 1 kWh de electricidad con las energías primarias actualmente empleadas, genera 0.675 kg de CO₂. Por lo que con cada kWh generado con biogás, hay un ahorro equivalente en CO₂.

Resultados

En total, con los cuarenta y seis municipios que conforman el estado de Guanajuato, hay registradas 965,863 cabezas de Ganado porcino. Empleando la distribución porcentual de la tabla 2, es factible clasificar dicho total, por edad. Este resultado se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Totalización de puercos clasificados.

Tipo	Cantidad (animales)
Pequeño	379700
Mediano	450894
Grande	135268
Total	965863

En la figura 5, se puede visualizar cómo es la distribución por municipio, clasificada y totalizada, en el Estado de Guanajuato. Los municipios con mayor cantidad de Ganado porcino, son: Pénjamo, San Miguel de Allende, Apaseo el Grande, Abasolo e Irapuato. Estos cinco municipios poseen el 60% de la producción porcina del estado.

Al estar tan concentrada la producción en pocos municipios, es más sencillo procurar herramientas legales y de estímulo para el desarrollo de este tipo de soluciones.

Conociendo la cantidad de excreta diaria que genera cada grupo (según la tabla 3), es posible obtener la cantidad de excreta diaria y/o anual esperada en el estado, tal como se muestra en la tabla 6. En total, se producen cerca de 1326 toneladas de excreta al día.

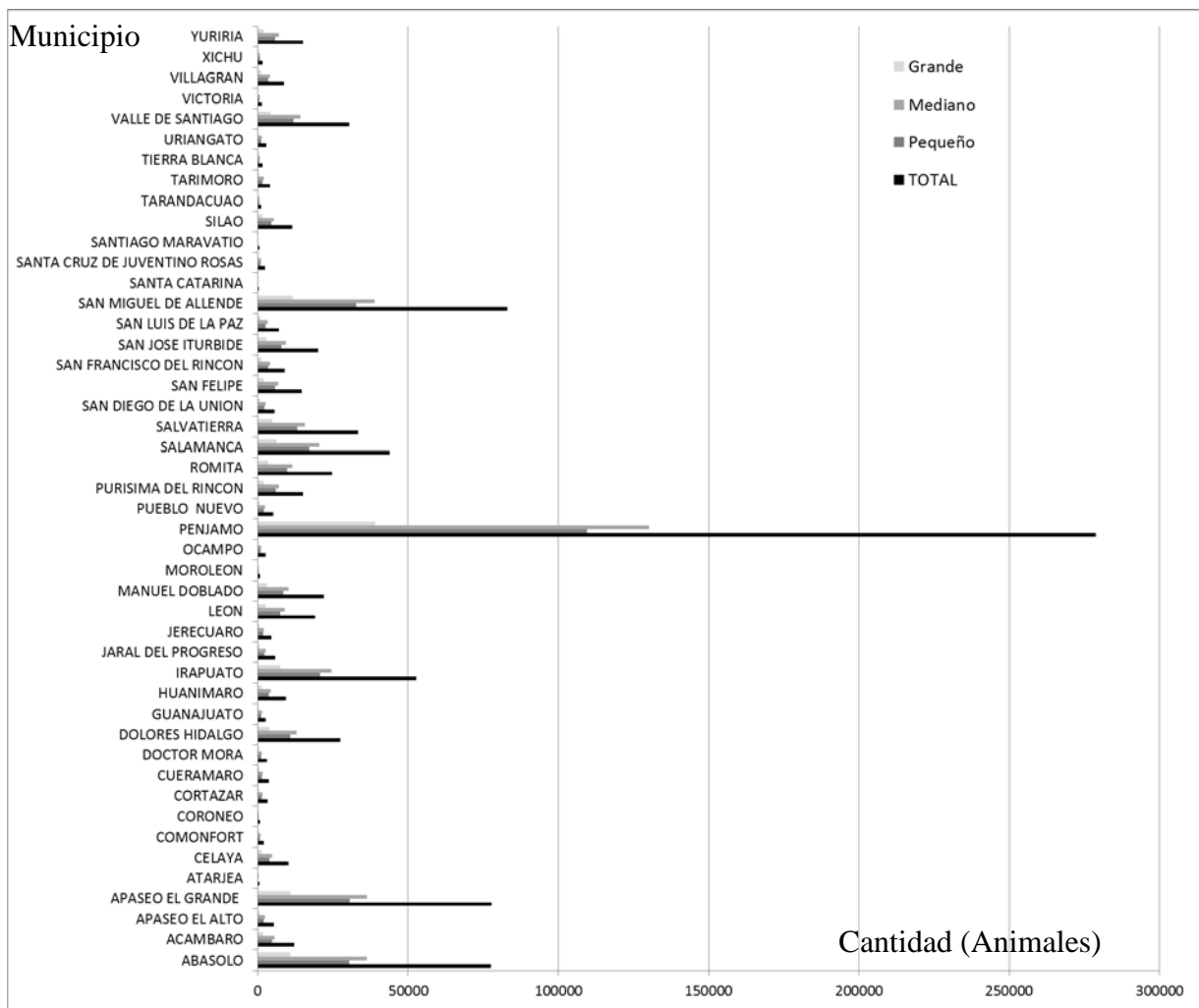


Fig. 5. Distribución de Ganado porcino por municipio en el estado de Guanajuato.

Tabla 6. Producción diaria y anual de excretas porcinas en Guanajuato

	Pequeño	Mediano	Grande	Total
Cantidad animales	379700	450894	135268	965863
Excreta /animal-día (kg)	1	1.5	2	--
Total Excreta/día (Ton)	379.7	676.3	270.5	1326.5
Total Excreta/año (Ton)	138591	246865	98746	484201

Un resultado parcial importante, es la estimación de producción de biogás en metros cúbicos. Para ello, se emplea la tabla 4 indicada en la metodología, la cual para ciertas condiciones ambientales permite calcular el rendimiento en producción de biogás por cada kilogramo de excreta de ganado porcino. Así, se pueden obtener los datos mostrados en la tabla 7.

Tabla 7. Producción potencial diaria y anual de biogás en Guanajuato (porcino)

	Pequeño	Mediano	Grande	Total
Cantidad animales	379700	450894	135268	965863
Biogas /animal-día (m³)	0.07	0.11	0.14	--
Total Biogas/día (m³) x10³	26.6	49.6	18.9	95.1
Total Biogas/año (m³) x10³	9701.3	18103.4	6912.2	34716.9

En la tabla 7, se puede observar que la cantidad potencialmente obtenible de biogás debido a excretas de ganado porcino en Guanajuato, alcanza la cifra de 34 millones de metros cúbicos, con una producción diaria que rondaría los 100 mil metros cúbicos.

Tomando en cuenta un contenido energético de 5.56 kWh/m³ y la conversión a BEP explicada en el aparte anterior, se puede estimar la energía disponible diaria y anual con el biogás que se obtendría.

En la tabla 8, se muestran los resultados correspondientes de manera global y un diagrama pastel (figura 6), con la distribución de la producción energética por municipio (centrándose en los cinco más representativos y dejando a los demás agrupados como un restante).

Tabla 8. Energía obtenible del aprovechamiento de las excretas de ganado porcino.

	Pequeño	Mediano	Grande	Total
Volumen de Biogas (m³/día) x10³	26.6	49.6	18.9	95.1
Total Energía/día MWh	147.8	275.8	105.3	528.8
Total Energía/año GWh	53.9	100.7	38.4	193.0
BEP/día	86.9	162.2	61.9	311.0
BEP/año x10³	32	59	23	114

Nota: **BEP** son las siglas de **Barril Equivalente de Petróleo**

El resultado indica que el aprovechamiento pleno de la biomasa producida por las excretas de ganado porcino en el estado de Guanajuato, produciría cerca de 200 GWh/año o su equivalente energético de más de cien mil barriles de petróleo al año. Esa cantidad de energía, representa claramente un ahorro económico para el estado en función de los barriles de petróleo que pudieran ser sustituidos por esta fuente energética y en su caso ser exportados, generando recursos para otros propósitos.

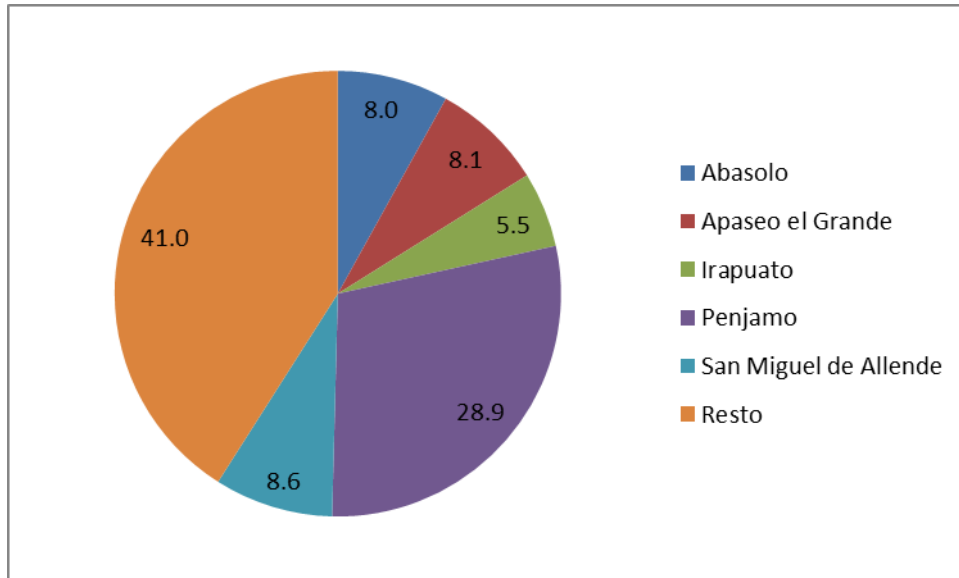


Fig. 6. distribución en porcentaje de la energía disponible para aprovechamiento por municipio.

Desde el punto de vista eléctrico, si todo el biogás obtenible se utilizara para alimentar una turbina de gas que emplee biogás como alimentación, con una eficiencia global de 30%, podría generarse 1.67kWh/m³.

Tabla 9. Producción total de energía eléctrica estimada

	Pequeño	Mediano	Grande	Total
Volumen de Biogas (m³/día) x10³	26.6	49.6	18.9	95.1
Total Energía Eléctrica/día MWh	44.4	82.8	31.6	158.8
Total Energía Eléctrica/año GWh	16.2	30.2	11.5	58.0

Así, es posible obtener casi 60 GWh/año, lo que es equivalente a un generador eléctrico de 6.6 MW generando electricidad de manera continua y permanente.

Con esa producción de energía, se dejarían de producir cerca de 40,000 toneladas de CO₂ como se observa en la tabla 10 (debido a la sustitución de fuente energética primaria) y al quemar en metano contenido en el biogás (CH₄), se dejaría sin liberar este elemento a la atmósfera, como sucedería de manera natural en el proceso de descomposición.

Tabla 10. Ahorro de Emisiones de CO₂ (por sustitución de combustibles fósiles)

	Cantidad dejada de emitir
CO ₂ /día (Ton)	107.2
CO ₂ /año (Ton)	39134.7

Análisis de Resultados

Del análisis efectuado, se pudo observar la gran potencialidad de la que dispone el estado de Guanajuato para la explotación energética de las excretas de ganado porcino, mediante la obtención de biogás.

Tomando en consideración los aspectos técnicos relacionados para producir electricidad, se podrían obtener cerca de 60 GWh al año. Si se toma en cuenta que una vivienda típica de clase trabajadora, consume un promedio de 2.5 kWh/día, lo que representa cerca de 1MWh/año, se estaría disponiendo de suficiente energía para alimentar 60,000 viviendas, lo que según el INEGI podría representar el suministro de energía eléctrica a más de 250,000 personas. Si se visualizan esos números en un ambiente rural, donde uno de los principales problemas es el costo asociado a la entrega de electricidad a los hogares y las características técnicas en cuanto a calidad del suministro proporcionado, esta solución implicaría socialmente hablando un beneficio local significativo. Además del empoderamiento tecnológico que implica la instalación, capacitación, operación y mantenimiento de este tipo de soluciones.

Desde el punto de vista ambiental, representa dejar de emitir casi 40,000 Ton de CO₂ al año que podrían a su vez tener implicaciones económicas beneficiosas desde el punto de vista de lo que establece la transición a una economía baja en carbono, a partir de los certificados de emisiones. Este beneficio, aún en revisión en la ejecución de las leyes secundarias de la reforma energética Mexicana, podría reducir aún más el período de retorno de la inversión originada por la implementación de esta solución.

Desde el punto de vista energético básico o primario, la producción potencial de biogás, corresponde a cerca de 114,000 barriles de petróleo que se podrían ahorrar al año y no destinarlos para producir electricidad, sino para otros fines, como el comercio exterior. A un precio promedio de 50 USD/barril, implicaría un capital de casi 6 millones de pesos al año.

También desde el punto de vista económico, llevándolo a una economía de escala, el costo de producir electricidad con biomasa es de 2000 US\$/kW instalado (Martínez-Lozano, 2015) y (Samuel Nelson, 2013), siendo inferior al solar, térmico o fotovoltaico que rondan los

3000 US\$/kW, al eólico, que ronda los 2000-3000 US\$/kW, pero mayor que otras opciones como el ciclo combinado que se encuentra en el entorno de los 700 US\$/kW. Y desde el punto de vista de energía, representa una ventaja sustancial, ya que para una vida útil de explotación de 10 años, el costo aproximado es de 8 cUS\$/kWh, siendo menor igualmente que el solar y fotovoltaico, pero competitivo con el gas natural a precios actuales.

El estado a través de los diferentes entes que están siendo reorganizados detrás de la reforma energética, deberá aprovechar para estimular el desarrollo de estas fuentes alternas de energía, que disminuirán la dependencia del petróleo y crearán un desarrollo local para su aprovechamiento.

Conclusiones

El estudio indica que las potencialidades actuales de explotación en el Estado de Guanajuato de las excretas porcinas, hacen viables socialmente y claramente técnica y económicamente, proyectos de explotación de esta fuente primaria de energía para su aprovechamiento en la generación local de electricidad y posiblemente su interconexión con el sistema eléctrico nacional.

Se pueden extraer alrededor de 100,000 m³/día de biogás y producir aproximadamente 60 GWh de energía eléctrica, sustituyendo cerca de 114,000 barriles de petróleo al año y con un ahorro de 40,000 Ton de CO₂ dejadas de emitir. Esto al compararse con otras regiones de México e incluso del mundo, es un número atractivo para convertirlo en proyectos concretos.

La obtención de biogás mediante biodigestores, tiene un bajo costo, lo que hace a esta alternativa una posible solución local.

El biogás tiene muchos usos, por lo que puede ser aprovechado localmente para alimentar calderas, sistemas de riego mediante motores de combustión interna, etc, o generar electricidad y en forma de generación distribuida, inyectarla a la red de CFE y participar en el intercambio energético local. La generación distribuida a esta escala, posee ventajas, ya que disminuye pérdidas en la red de distribución y descarga líneas de subtransmisión de CFE, por lo que se reducen las inversiones a mediano y largo plazo.

Dado que el flujo de excretas es constante a lo largo del año, es una fuente de energía predecible y no aleatoria o no permanente como el viento o el sol, representando una mejor

solución para la operación de un sistema eléctrico de distribución con fuentes de energía distribuida.

No resulta difícil pensar, dadas experiencias en otros países, que al ser una alternativa técnicamente factible y económica, que con apoyo estatal será sencillo su desarrollo local.

Referencias

- Antonio Colmenar-Santos, J.-L. B.-G.-D.-G. (2015). Hybridization of concentrated solar power plants with biogas production systems as an alternative to premiums: The case of Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 186–197.
- Arias, L.A.; Chica, A.J.; Florez, O.D.; Becerra, M.A., (2012), UML for the design of the Biodigester automation . pp: 1 - 5. Transmission and Distribution: Latin America Conference and Exposition (T&D-LA), Sept 2012 Sixth IEEE/PES. Montevideo. Uruguay.
- Campero, O., Kristinc, G., Cuppens, T., Mizme, P. (2008). Implementación del programa de mitigación de los efectos negativos del gas metano CH₄, con la ejecución de acciones integrales de energías renovables y medio ambiente en el área rural de La Paz, Cochabamba y Santa Cruz. (*Tecnologías en Desarrollo*. 1-36.
- Deutsches BiomasseForschungsZentrum (DBFZ), Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse“, Leipzig 2010, p.1. http://www.dbfz.de/web/fileadmin/user_upload/Userupload_Neu/3330002_Stromerzeugung_aus_Biomasse_3_Zwischenbericht_Kapitel_1-5_fuer_Veroeffentlichung_final.pdf (04.10.2014)
- Ferran R, Jiménez E, González E, 2013. Aprovechamiento energético de biogás de depósito controlado mediante microturbinas y eliminación biológica de ácido sulfhídrico y siloxanos. [artículo en línea]. Revisado 11 de noviembre de 2014. Disponible en: http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=LIFE05_ENV_E_000319_LAYMAN_ES.pdf
- González J. (2010). Energías Renovables. México: Editorial Reverte
- Infraestructura para granjas porcinas. Dirección web: <http://razasporcinas.com/pigmarket/categoria-producto/desechos-y-efluentes/>. Visitada: 08/11/2014.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2012). Anuario estadístico de Guanajuato 2012/Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Gobierno del Estado de Guanajuato —México: INEGI, 2012.
- INEGI, Información territorial, 2014. [en línea]. Revisado: 1 noviembre 2014. Disponible en: http://www.cuentame.inegi.org.mx/mapas/pdf/entidades/div_municipal/gtomprios.pdf

- Martínez C.C. Volumen de biodigestores. *Energía y tú*, (número 39), julio-septiembre de 2007 [en línea]. Revisado 14 de agosto de 2014]. Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia39/HTML/articulo04.htm>.
- Martínez-Lozano, M. (2015). Petróleo y gas vs Energías Renovables: Oportunidades y Complemento. *LATAM Energy Convention*, (págs. 1-15). Bogotá.
- Pao HT, F. H. (2013). Renewable energy, non-renewable energy and economic growth in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 382–391.
- Red Mexicana de Bioenergía (2012). “Producción de Biogás en México. Estado Actual y Perspectivas”. Cuaderno Temático No 5, Diciembre 2012.
- Samuel Nelson, M. I. (2013). Electric energymicro-production in a rural property using biogas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 385–391.
- S.J. Gerssen-Gondelach, e. a. (2014). Competing uses of biomass: Assessment and comparison of the performance of bio-based heat, power, fuels and materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 964–998.
- SENER. (2013). *Prospectiva del Sector Eléctrico 2013-2027*. Recuperado el 06 de 08 de 2015, de Secretaría de Energía: http://sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2013/Prospectiva_del_Sector_Electrico_2013-2027.pdf
- Vera-Romero Iván, Estrada-Jaramillo Melitón, Martínez-Reyes José and Ortiz-Soriano Agustina, "Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I: excretas de ganado bovino y porcino", *Ingeniería Investigación y Tecnología*, volumen XV (número 3), julio-septiembre 2014: 429-436
- Wolfgang S., B. Ralf (2011), Towards an Economy Based on Renewable Energy Generation: Is Biogas Part of the Solution?. UPEC 2011 · 46th International Universities' Power Engineering Conference · 5-8th September 2011 · Soest · Germany.