

Potencial de energía eléctrica y factibilidad financiera para biodigestor-motogenerador en granjas porcinas de Puebla*

Potential electric energy and financial feasibility biodigestor-generator in pig farms from Puebla

José Apolonio Venegas Venegas¹, Anastacio Espejel García², Alberto Pérez Fernández⁴, José Alfredo Castellanos Suárez^{3§} y Gaudencio Sedano Castro²

¹Universidad Autónoma de Chiapas-Facultad de Ciencias Agronómicas. Carretera Villaflores-Ocozocoautla, km 7.5. Villaflores, Chiapas. CP. 30470. (javenegasve@conacyt.mx; francisco.guevara@unach.mx). ²Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, km 38.5. Chapingo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. (aespejelga@conacyt.mx; gsedan3@hotmail.com). ³Universidad de Guanajuato-Departamento de Arte y Empresa. Carretera Salamanca-Valle de Santiago, km 3.5 + 1.8. Salamanca, Guanajuato, México. CP. 36885. ⁴Universidad Autónoma del Carmen-Facultad de Ciencias Económico-Administrativas. Calle 56 núm. 4 Esquina Avenida Concordia. Col. Benito Juárez, Cd. del Carmen, Campeche. CP. 24180. (apfernandez@pampano.unacar.mx). [§]Autor para correspondencia: josealfedocs@hotmail.com.

Resumen

La creciente demanda de energía a nivel mundial a base de combustibles de origen fósil ha ocasionado severos daños al medio ambiente, la energía renovable, en particular el biogás es una opción para contrarrestar el problema, además se puede generar electricidad por medio de un motogenerador y reducir costos de producción de granjas porcinas. Se estimó el potencial de energía eléctrica en 19 municipios de Puebla en granjas de más de 500 cerdos, dichas granjas podrían generar 17 875 MW de energía eléctrica al año, también se realizó un análisis financiero para cinco tamaños de granja propuesto con sistema biodigestor-motogenerador donde los indicadores resultaron positivos en todos los casos.

Palabras clave: análisis financiero, motogenerador, tamaño de granja.

La población mundial actualmente es más de 7 000 millones y se estima que para el año 2030, habrá 8 000 millones de personas, el crecimiento poblacional está estrechamente relacionado con el crecimiento de la demanda de energía mundial (Estrada, 2013). Las fuentes primarias de energía

Abstract

The growing worldwide energy demand from fossil fuels has caused severe damage to the environment, renewable energy, particularly biogas is an option to counteract the problem, in addition it can generate electricity by means of a motor-generator and reduce production costs of pig farms. The potential of electric power was estimated in 19 municipalities of Puebla on farms with more than 500 pigs, these farms could generate 17 875 MW of electric power per year, a financial analysis was also carried out for five farm sizes proposed with biodigester-power generator system where indicators were positive in all cases.

Keywords: farm size, financial analysis, power generator.

The world population is currently of more than 7 billion and it is estimated that by 2030, there will be 8 billion people, population growth is closely related to the growth in world energy demand (Estrada, 2013). The primary energy sources currently used are natural gas, coal, oil, nuclear energy and renewable sources (Blanco, 2004). In the last decades the

* Recibido: febrero de 2017
Aceptado: abril de 2017

más utilizadas en la actualidad son el gas natural, carbón, petróleo, energía nuclear y las fuentes renovables (Blanco, 2004). La generación de energía en las últimas décadas es una de las grandes preocupaciones mundiales, debido a que en su mayoría para su generación, se emplean grandes cantidades de combustibles de origen fósil lo cual repercute en severos daños al ambiente por la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Las energías renovables se caracterizan porque, en sus procesos de transformación y aprovechamiento en energía útil, no se consumen ni se agotan en una escala humana de tiempo (Jara, 2006). En los procesos de descomposición anaeróbica se obtienen compuestos altamente energéticos que pueden ser usados para la obtención de energía eléctrica y calorífica (Magaña *et al.*, 2006).

El biogás producido puede ser quemado en una turbina de gas o motores de combustión interna, los cuales generan electricidad y calor; los motores de cuatro tiempos fueron desarrollados originalmente para el gas natural y por lo tanto son bien adaptados a las características especiales del biogás (Alexopoulos, 2012; Deublein y Steinhauser, 2008; Meggyes y Nagy, 2012). Diversos investigadores realizan adaptaciones a motores convencionales y los operan con biogás para generar electricidad, sin embargo los motogeneradores con biogás son más costosos en la actualidad; la energía se genera localmente y no es centralizada, además juega un papel muy importante para acelerar las actividades socioeconómicas (Siripornakarachai y Sucharitakul, 2007; Nindhia *et al.*, 2013; Ga *et al.*, 2013; Sosa *et al.*, 2014; Alam *et al.*, 2015).

En 2006 la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) a través del Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) en colaboración con la Universidad Autónoma de la Ciudad de México implementaron un proyecto de aprovechamiento de biogás en 9 granjas porcinas, instalaron motogeneradores de capacidad 60 kW accionados con biogás para la generación de energía eléctrica (SAGARPA, 2007). De 2008 a 2012, la SAGARPA apoyó la adquisición de 137 motogeneradores a partir de biogás, para generar energía eléctrica y térmica la cual es utilizada para diversos fines productivos dentro de las explotaciones agropecuarias Secretaría de Energía (SENER), 2012). Vera *et al.* (2014) estimaron el potencial de generación de biogás y energía eléctrica, a través del manejo de excretas de ganado vacuno y porcino en la región Ciénega del estado de Michoacán. Los estudios de factibilidad financiera de generación de

energy generation has been one of the great worries worldwide, since for its generation, great amounts of fossil origin fuels are used which has repercussions in severe damages to the environment by the emission of greenhouse gases (GHG). Renewable energies are characterized because, in their processes of transformation and use in useful energy, they are not consumed or depleted in a human scale of time (Jara, 2006). In anaerobic decomposition processes high-energy compounds are obtained and have the potential to be used for producing power and heat energy (Magaña *et al.*, 2006).

The produced biogas can be burned in a gas turbine or internal combustion engines, which generate electricity and heat; the four-stroke engines were originally developed for natural gas and therefore are well adapted to the special characteristics of biogas (Alexopoulos, 2012; Deublein and Steinhauser, 2008; Meggyes and Nagy, 2012). Several researchers have made adaptations to conventional motors to operate them with biogas to generate electricity, however, biogas power generators are more expensive today; energy is generated locally and is not centralized, it also plays an important role in accelerating socio-economic activities (Siripornakarachai and Sucharitakul, 2007; Nindhia *et al.*, 2013; Ga *et al.*, 2013; Sosa *et al.*, 2014; Alam *et al.*, 2015).

In 2006, the Secretariat of Agriculture, Livestock, Rural Development, Fisheries and Food (SAGARPA), through the Shared Risk Trust (FIRCO), in collaboration with the Autonomous University of Mexico City, implemented a biogas project in 9 pig farms, with the installation of 60 kW capacity power generators operated with biogas for the generation of electric power (SAGARPA, 2007). From 2008 to 2012, SAGARPA supported the acquisition of 137 power generators from biogas, to generate electric and thermal energy which is used for various productive purposes within the agricultural farms. Secretaría de Energía (SENER), 2012). Vera *et al.* (2014) estimated the generation potential of biogas and electric energy, through the management of excreta of cattle and pigs in the Ciénega region of Michoacán state. The financial feasibility studies of power generation with biogas in livestock activities demonstrates the energy self-sufficiency of farms, also it helps producers to make the decision to incorporate into their farms a power generator to produce electricity (Cervi *et al.*, 2011; Escalera *et al.*, 2014).

The study was conducted in three stages, the first consisting of the analysis of 18 projects supported by the Shared Risk Trust (FIRCO) from 2008 to 2012 on pig farms in Puebla. In a second phase, an estimate was made to determine the

energía eléctrica con biogás en actividades pecuarias demuestra la autosuficiencia energética de las granjas, además ayuda a los productores a tomar la decisión de incorporar en sus granjas un motogenerador para producir electricidad (Cervi *et al.*, 2011; Escalera *et al.*, 2014).

El estudio se realizó en tres etapas, la primera consistió en el análisis de 18 proyectos que apoyó el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) en el período de 2008 a 2012 en granjas porcinas en Puebla. En una segunda fase, se hace una estimación para determinar el potencial de generación de energía eléctrica con la fórmula de United States Environmental Protection Agency (EPA, 2006), en 19 municipios para granjas con más de 500 cerdos, dicha fórmula fue empleada por Casas *et al.* (2009), para establos lecheros. La tercera fase consistió en una propuesta para cinco tamaños de granja, donde se realizó un análisis de factibilidad financiera de cada tamaño propuesto con sistema integral biodigestor-motogenerador. El análisis de factibilidad financiera se realizó en base a la metodología de evaluación de proyectos de Baca (2013), donde se analizaron indicadores como valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR) y relación beneficio costo (B/C).

Escalera *et al.* (2014), evaluaron proyectos de mecanismo de desarrollo limpio (MDL) de granjas porcinas en México, la evaluación financiera contempló la adquisición, instalación y costos de mantenimiento de un motogenerador de 60 kW con 15 horas de operación durante 365 días, este estudio demostró que el motogenerador operado con biogás es rentable para las granjas generar su propia energía. Obtuvieron indicadores financieros muy altos, por ejemplo TIR con valores entre 30.34 y 152.58%, considerando una tasa de actualización de 12%.

El FIRCO del año 2008 al 2012 apoyó a 18 proyectos con motogeneradores, a partir de 2012 el ahorro total derivado de los proyectos de FIRCO es de 6 590 163 pesos por año. Las granjas están ahorrando en promedio 71.99% de sus costos en energía eléctrica, las granjas

pueden cubrir 100% de sus necesidades de energía eléctrica pero los motogeneradores no están operando a su máxima capacidad. Por otra parte en Puebla existen 37 granjas con gran potencial para implementar sistemas completos biodigestor-motogenerador distribuidas en 19 municipios. Las estimaciones obtenidas para las 37 granjas distribuidas en 19 municipios de Puebla representan un potencial de 17 875 MW de energía eléctrica por año (Figura 1).

potential for power generation with the formula of United States Environmental Protection Agency (EPA, 2006), in 19 municipalities with farms with more than 500 pigs, this formula was used by Casas *et al.* (2009), for dairy stables. The third phase consisted of a proposal for five farm sizes, where a financial feasibility analysis for each proposed size was carried out with an integral biodigestor-power-generator system. The financial feasibility analysis was based on Baca's project evaluation methodology (2013), which analyzed indicators such as net present value (NPV), internal rate of return (IRR) and cost benefit ratio (B/C).

Escalera *et al.* (2014), evaluated clean development mechanism (CDM) projects of pig farms in Mexico, the financial assessment contemplated the acquisition, installation and maintenance costs of a 60 kW power generator with 15 hours of operation during 365 days, this study showed that the biogas power generator is profitable for the farms to generate their own energy. They obtained very high financial indicators, for example IRR with values between 30.34 and 152.58%, considering an update rate of 12%.

The FIRCO supported 18 projects from 2008 to 2012 with power generators, from 2012 the total savings derived from FIRCO projects is 6 590 163 pesos per year. Farms are saving an average of 71.99% of their electricity costs, farms can cover 100% of their electricity needs, but power generators are not operating at full capacity. On the other hand in Puebla there are 37 farms with great potential to implement complete biodigestor-power generator systems distributed in 19 municipalities. The estimates obtained for 37 farms distributed in 19 municipalities in Puebla represent a potential of 17 875 MW of electricity per year (Figure 1).

Electricity consumption per capita in Mexico increased 1.5% compared to 2013, reaching 2 015.28 kW in 2014 (SENER, 2015). Considering this data as a reference, the 37 farms of Puebla could supply the consumption of 8 869 people per year.

The financial analysis provided for a farm size of 500 pigs a power-generator of 10 kW, for farms of 1 000 and 2 000 pigs a power-generator of 30 kW and for farms of 3 000 and 5 000 pigs a power-generator of 60 kW, for the five proposed farm sizes, 312 days of operation were considered, with a variation in number of hours of operation. The analysis contemplates the acquisition, installation, maintenance of the biodigestor-power generator system and as income, the saving in electric energy payment and fertilizer sale. The evaluation was carried out with an update rate of 12%.

El consumo de electricidad per cápita en México, aumentó 1.5% respecto a 2013, al ubicarse en 2 015.28 kW en 2014 (SENER, 2015). Al considerar dicho dato como referencia, las 37 granjas de Puebla podrían abastecer el consumo de 8 869 personas por año.

El análisis financiero contempló el tamaño de granja de 500 cerdos con un motogenerador de 10 kW, para granjas de 1 000 y 2 000 cerdos un motogenerador de 30 kW y para granjas de 3 000 y 5 000 cerdos un motogenerador de 60 kW, para los cinco tamaños de granja se consideró que el motogenerador opere 312 días, solo varía el número de horas de operación. El análisis contempla la adquisición, instalación, mantenimiento del sistema biodigestor-motogenerador y como ingresos, el ahorro por pago de energía eléctrica y venta de fertilizante. La evaluación se realizó con una tasa de actualización de 12%.

Los resultados indican que hay una relación directa entre tamaño y rentabilidad, a mayor tamaño de granja mejor indicador financiero, los cinco tamaños de granja propuestos presentan indicadores financieros favorables, por lo que los productores que tengan granjas con tamaños similares pueden realizar una inversión para generar su propia energía y hacer más eficiente su unidad de producción con el ahorro de costos, además de contribuir con el cuidado del ambiente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis financiero para diferentes tamaños de granja (cabezas).
Table 1. Financial analysis for different farm sizes (heads).

Cabezas	Biogás demandado (motogenerador m ³ año ⁻¹)	Energía eléctrica por el motogenerador (kW año ⁻¹)	Costo biodigestor-motogenerador (\$)	¥VAN	¥TIR (%)	¥B/C
500	34 320	49 920	699 971	36 959	13.35	1.67
1000	72 072	104 832	1 274 848	287 283	17.44	1.94
2000	77 220	112 320	1 480 848	586 369	21.48	2.17
3000	154 440	224 640	1 989 281	1 744 038	32.12	2.85
5000	154 440	224 640	2 264 281	2 326 487	35.47	3.07

¥= Elaboración con base en la metodología de evaluación de proyectos de Baca (2013).

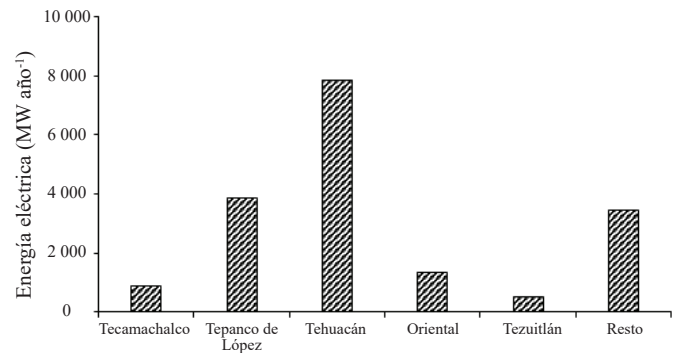


Figura 1. Potencial de generación de energía eléctrica en 19 municipios de Puebla (MW año⁻¹). Elaboración con base a la metodología de EPA (2006).

Figure 1. Potential power generation in 19 municipalities Puebla (MW year⁻¹). Elaboration based on methodology EPA (2006).

The results indicate that there is a direct relationship between size and profitability, the larger the size of the farm the better the financial indicator would be, the five proposed farm sizes showed favorable financial indicators, so that producers with similar size farms can make an investment to generate their own energy and make their production unit more efficient with cost savings, as well as contribute to environmental care (Table 1).

Conclusiones

Cada granja tiene necesidades diferentes de energía eléctrica. Los motogeneradores pueden cubrir 100% de las necesidades de cada granja y el sobrante de energía eléctrica lo pueden

Conclusions

Each farm has different needs for electric power. The power generators can cover up to 100% of the needs of each farm and the surplus of electric power can be used to incorporate

implementar para incorporar nuevas actividades dentro de las unidades de producción, por ejemplo, la instalación de una planta de alimentos balanceados. Los tamaños de granja de 500 y 1 000 cerdos ya no tendrían suficiente biogás para otras actividades, pero los tamaños de granja de 2 000, 3 000 y 5 000 cerdos cuentan con suficiente biogás incluso para operar otro motogenerador.

El estado de Puebla tiene un gran potencial para que sus granjas con más de 500 cerdos puedan ser autosuficientes en energía eléctrica al emplear sus desechos. Los cinco tamaños de granja analizados en esta investigación presentan indicadores financieros favorables por lo que se recomienda implementar estos sistemas de energía renovable. Los diferentes tamaños de granja propuestos permiten a los productores implementar un sistema biodigestor-motogenerador de acuerdo a la necesidad de la granja, de esta forma el sistema será más eficiente en la generación de energía y evitará gastos innecesarios. El empleo de biodigestores en granjas porcinas es rentable en términos económicos, sociales y ambientales.

Literatura citada

- Alexopoulos, S. 2012. Biogas systems: basics, biogas multifunction, principle of fermentation and hybrid application with a solar tower for the treatment of waste animal manure. Greece. *J. Eng. Sci. Technol.* 4(5):48-55.
- Alam, R. Z.; Hussien, M. E.; Siwar, C. and Ludin, N. A. 2015. The potential of renewable energy sources for sustainable energy demand of Malaysia: a review. *Res. J. Appl. Sci.* 6(10):212-220.
- Baca, U. G. 2013. Evaluación de proyectos. McGraw-Hill. Séptima edición. México. 371 p.
- Blanco, S. F. 2004. Aumento de la demanda de empleo en energías renovables. España. *Rev. Galega de Economía.* 1-2(13):1-11.
- Casas, P. M. A.; Rivas, L. B. A.; Soto, Z. M.; Segovia, L. A.; Morales, M. H. A.; Cuevas, G. M. I. y Keissling, D. C. M. 2009. Estudio de factibilidad para la puesta en marcha de los digestores anaeróbicos en establos lecheros en la cuenca de Delicias, Chihuahua. México. *Rev. Mex. Agron.* 24(13):745-756.
- Cervi, G. R.; Esperancini, T. S. M. y Bueno, C. O. 2011. Viabilidad económica de la utilización de biogás para la conversión en energía eléctrica. Brasil. *Información Tecnológica.* 4(22):3-14.
- Deublein, D. and Steinhäuser, A. 2008. Biogas from waste and renewable resources. Wiley-Vch. Germany. 443 p.
- Escalera, C. M. E.; Gallegos, F. G. and Leal, V. J. C. 2014. Clean energy a CDM project option. *Eur. Sci. J.* 15(10):326-338.
- Estrada, G. C. A. 2013. Transición energética, energías renovables y energía solar de potencia. México. *Rev. Mex. Física.* 2(59):75-84.
- new activities inside the production units, for example, the installation of a balanced foods plant. Farm sizes of 500 and 1 000 pigs would not have enough biogas for other activities, but farm sizes of 2 000, 3 000 and 5 000 pigs have enough biogas to even operate another power-generator.
- Puebla state has great potential for its farms with more than 500 pigs to be self-sufficient in electrical energy when using their waste. The five farm sizes analyzed in this paper showed favorable financial indicators and therefore it is recommended to implement these renewable energy systems. The different farm sizes proposed allow producers to implement a biodigester-power generator system according to the farm's needs, in that way the system will be more efficient in the generation of energy and would avoid unnecessary expenses. The use of biodigesters in pig farms is economically, socially and environmentally profitable.

End of the English version



- Ga, B. V.; Nam, T. V. and Hai, T. T. T. 2013. A simulation of effects of compression ratios on the combustion in engines fueled with biogas with variable CO₂ Concentrations. *Int. J. Eng. Res. Appl.* 5(3):516-523.
- Jara, T. W. 2006. Introducción a las energías renovables no convencionales. Fyrma gráfica. Primera edición. Chile, Chile. 84 p.
- Magaña, R. J. L.; Torres, R. E.; Martínez, G. M. T.; Sandoval, J. C. y Hernández, C. R. 2006. Producción de biogás a nivel laboratorio utilizando estiércol de cabra. México. *Acta Universitaria.* 2(16):27-37.
- Meggyes, A. and Nagy, V. 2012. Biogas and energy production by utilization of different agricultural Wastes. Hungary. *Acta Polytechnica Hungarica.* 6(9):65-80.
- Nindhia, T. G. T.; Surata, I. W.; Atmika, I. K. A.; Negara, D. N. K. P. and Wardana, A. 2013. Method on conversion of gasoline to biogas fueled single cylinder of four stroke engine of electric Generator. *Int. J. Env. Sci. Development.* 3(4):300-303.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2007. Aprovechamiento de biogás para la generación de energía eléctrica en el sector agropecuario. México. *Claridades Agropecuarias.* 168:3-40.
- SENER (Secretaría de Energía). 2012. Prospectivas de energías renovables 2012-2026. México. 156 p.
- Siripornakarachai, S. y Sucharitakul, T. 2007. Modification and tuning of diesel bus engine for biogas electricity production. Thailand. *Maejo Int. J. Sci. Technol.* 1(2):194-207.
- Sosa, R.; Díaz, Y. M.; Cruz, T. and Fuente, J. L. 2014. Diversification and overviews of anaerobic digestion of Cuban pig breeding. Cuba. *Cuban J. Agric. Sci.* 1(48):67-72.

SENER (Secretaría de Energía). 2015. Balance nacional de energía 2014. Primera edición. México. 136 p.
United States Environmental Protection Agency (EPA). 2006. AgSTAR Digest. EPA. Washington D.C. 14 p.

Vera, R. I.; Martínez, R. J.; Estrada, J. M. y Ortiz, S. A. 2014. Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I: excretas de ganado bovino y porcino. México. Ingeniería Investigación y Tecnología. 3(15):429-436.