

Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I: excretas de ganado bovino y porcino

Biogas and Power Generation Potential Part I: Bovine and Pig Manure

Vera-Romero Iván

Universidad de la Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo
Correo: ivanverar@gmail.com

Martínez-Reyes José

Universidad de la Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo
Correo: jmreyes@geociencias.unam.mx

Estrada-Jaramillo Melitón

Universidad de la Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo
Correo: unoesun@yahoo.com

Ortiz-Soriano Agustina

Universidad de la Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo
Correo: ortizagus@yahoo.com.mx

Información del artículo: recibido: febrero de 2013, reevaluado: abril de 2013, aceptado: junio de 2013

Resumen

El trabajo reporta el potencial de energía a través del biogás obtenido directamente de las excretas del ganado vacuno y porcino con el que cuenta la región Ciénega correspondiente al Estado de Michoacán de Ocampo, México. Se empleó información del último censo agropecuario del INEGI para conocer la población de ganado, posteriormente, se estableció una cantidad de estiércol por tipo de animal y edad acorde a un tamaño promedio. Se calculó la cantidad de estiércol total y se estimó la cantidad de biogás que se podría obtener, así como la energía eléctrica. Representando un ahorro de energía eléctrica de 4.23% que corresponde para 2013 a un monto de \$18,300,000 pesos aproximadamente, con un costo promedio de 2.326 pesos por cada kWh en una tarifa 5A de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Descriptor:

- biogás
- excretas
- ganado bovino y porcino
- energía eléctrica

Abstract

The potential energy through biogas obtained directly from the dung of bovine and pigs is reported in this paper, in the Cienega region of Michoacan, Mexico. The last INEGI Agricultural Census was used to determine the livestock population, and then the amount of manure by type of animal was established according to an average size. The total amount of manure was calculated and the amount of biogas and electricity produced. Representing a saving of electrical energy corresponding to 4.23% in 2013 to an amount of \$18,300,00 Mexican pesos approximately, with an average cost of 2.326 pesos per kWh at a rate 5A Federal Electricity Commission (CFE).

Keywords:

- biogas
- dung
- bovine and pig cattle
- electric power

Introducción

La región Ciénega de Michoacán de Ocampo ubicada al noroeste de esta entidad (figura 1), desde hace mucho tiempo es una zona principalmente agrícola y en menor medida pecuaria, hoy en día, esta práctica es uno de los pilares principales de su economía. Esta región está comprendida por nueve municipios: Briseñas, Cojumatlán de Régules, Jiquilpan, Pajacuarán, Sahuayo, Venustiano Carranza, Villamar, Vista Hermosa e Ixtlán. La característica principal que existe entre estos municipios es que todos están interconectados por carreteras que hacen relativamente fácil el acceso entre una y otra comunidad.

El principal ganado que destaca en esta región es el vacuno y porcino, con una existencia reportada por el Censo Agropecuario 2007, último realizado por el INEGI (www.inegi.org.mx), de 31,598 cabezas de ganado vacuno y 38,515 cabezas de porcino. Es probable que estas cifras a la fecha hayan variado, sin embargo, esa variación no debe ser significativa debido a que son actividades ligadas a su economía.

Problemática

La gran cantidad de estiércol producido por el ganado no tiene un tratamiento previo o adecuado para su disposición final, lo cual implica mantener un foco de infección latente perjudicial para la comunidad en general. Gran cantidad de estiércol se deposita en las tierras de cultivo que sirve para mejorar su calidad, así como para obtener mejores cosechas (Serrato *et al.*, 2002), sin embargo, esta práctica tiene un inconveniente, el estiércol tarda aproximadamente un año en degra-

darse y poder ofrecer todos sus nutrientes de manera asimilable (Herrick y Lai, 1996; Aarons *et al.*, 2004; Vadas *et al.*, 2011). Otra desventaja es que al descomponerse en presencia del aire la reacción que se presenta es exotérmica a través de una fermentación, el calor producido eleva la temperatura a su alrededor y es capaz de inhibir la germinación de la semilla provocando daño a las plántulas, lo cual es resultado de una relación incorrecta de tierra/estiércol.

Otra práctica de tratamiento final de las excretas es verterlas a canales, lo que se presenta principalmente en la zona de "La Palma", ya que en época de lluvias el estiércol no se puede recoger y es desalojado de esa forma. Una práctica más de disposición final es emplear lagunas de sedimentación, sin embargo no es una práctica muy común, por lo tanto no resuelve el problema.

Por otro lado, se tiene el problema de los altos costos y la escasez en los energéticos (BP, 2012), que se usan principalmente para la producción de energía eléctrica. Para el año 2009, la región Ciénega, consumió 186,601 MWh de un total de 5,928,038 MWh que consumió el Estado completo y que representó un monto aproximado de 230 millones de pesos (17 millones de USD), de acuerdo con los datos reportados por el INEGI. Empleando una paridad promedio del peso contra el dólar, basado en datos de julio de 2011 a julio de 2012, de 13.5 pesos por USD (www.banxico.org.mx).

En este trabajo se pretende estimar el potencial que tiene esta región para la producción de biogás a través de excretas de ganado vacuno y porcino, además de estimar la generación de energía que se podría obtener empleando este biocombustible como energético para producir energía eléctrica (Casas *et al.*, 2009) que se aplicaría al alumbrado municipal de esta misma región.

Desarrollo

Clasificación

Para cuantificar la cantidad de biogás producido se recurrió a la base de datos del INEGI correspondiente al Censo Agropecuario 2007, donde se muestra la cantidad de cabezas de ganado dispuestas por edades, dependiendo el tipo de ganado. Para el estudio se consideraron tanto el ganado vacuno como el porcino, tomando en cuenta que la región Ciénega es una zona agropecuaria

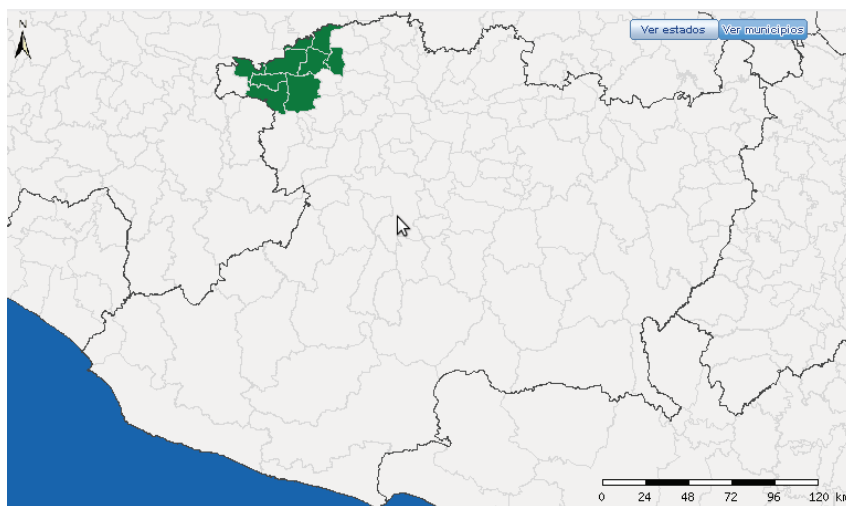


Figura 1. Región Ciénega. Fuente: INEGI

importante del Estado. Las edades para cada uno de los ganados corresponden a un tamaño como se puede apreciar en la tabla 1, con el fin de definir la cantidad de estiércol promedio producido por grupo (Martínez, 2007).

La cantidad de excretas producidas por cabeza varía dependiendo del tamaño, sin embargo, el tiempo de estancia de los animales en el corral impacta directamente en la cantidad que se puede aprovechar de ellas (tabla 2). Para el ganado vacuno, el tiempo de estancia es de doce horas por día aproximadamente, lo cual implica que solo 50% de las excretas se puede recuperar,

mientras que para el ganado porcino, el estadio es de 100%, dando como resultado un eficaz método de recolección de excretas.

Existencias y producción de estiércol

La existencia de ganado se reporta por cada municipio que comprende la región Ciénega (tablas 3-4), mientras que la cantidad total de excretas dependerá de la cantidad total de cabezas de ganado afectado por su tamaño (tablas 5-7).

Tabla 1. Clasificación por edad

Vacuno	Menores de 1 año	Ternero
	De 1 a 2 años	Pequeño
	De 2 a 3 años	Mediano
	Mayores de 3 años	Grande
Porcino	Menores de 8 semanas	Pequeño
	Entre 2 y 6 meses	Mediano
	Sementales	Grande
	Vientres	Grande
	Mayores de 6 meses	Grande

Tabla 2. Producción promedio de estiércol de acuerdo al tiempo de estancia (Martínez, 2007)

Bovino		
Producción de excretas por día		
Grande	15	kg/día
Mediano	10	kg/día
Pequeño	8	kg/día
Ternero	4	kg/día
Porcino		
Producción de excretas por día		
Grande	2	kg/día
Mediano	1.5	kg/día
Pequeño	1	kg/día

Tabla 3. Cabezas de ganado vacuno por municipio. Fuente: Adaptación datos INEGI

Región Ciénega, Michoacán	Ternero	Pequeño	Mediano	Grande	TOTAL
Briseñas	271	265	336	113	985
Cojumatlán de Régules	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Jiquilpan	2,492	1,851	1,261	2,467	8,071
Pajacuarán	793	556	556	818	2,723
Sahuayo	885	770	621	1,127	3,403
Venustiano Carranza	1,420	1,240	1,441	1,664	5,765
Villamar	920	867	722	1,360	3,869
Vista Hermosa	453	547	489	811	2,300
Ixtlán	837	549	572	1,082	3,040
Total	8,071	6,645	5,998	9,442	30,156
Porcentaje (%)	26.8	21.0	19.9	31.3	100

Tabla 4. Cabezas de ganado porcino por municipio. Fuente: Adaptación datos INEGI

Región Ciénega, Michoacán	Pequeño	Mediano	Grande	TOTAL
Briseñas	339	567	345	1,251
Cojumatlán de Régules	N/D	N/D	N/D	N/D
Jiquilpan	87	85	52	241
Pajacuarán	3,149	3,683	832	7,664
Sahuayo	21	44	14	79
Venustiano Carranza	112	495	215	822
Villamar	57	263	148	468
Vista Hermosa	7,461	14,069	2,626	24,156
Ixtlán	941	1,113	603	2,657
Total	12,167	20,319	4,835	37,321
Porcentaje (%)	32.6	54.4	13.0	100

Tabla 5. Producción de estiércol Bovino (kg/día)

Región Ciénega, Michoacán	Ternero	Pequeño	Mediano	Grande	TOTAL
Briseñas	1,084	2,120	3,360	1,695	8,259
Cojumatlán de Régules	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Jiquilpan	9,968	14,808	12,610	37,005	74,391
Pajacuarán	3,172	4,448	5,560	12,270	25,450
Sahuayo	3,540	6,160	6,210	16,905	32,815
Venustiano Carranza	5,680	9,920	14,410	24,960	54,970
Villamar	3,680	6,936	7,220	20,400	38,236
Vista Hermosa	1,812	4,376	4,890	12,165	23,243
Ixtlán	3,348	4,392	5,720	16,230	29,690
Total	32,284	53,160	59,980	141,630	287,054
Porcentajes (%)	11.2	18.5	20.9	49.3	100

Tabla 6. Producción de estiércol Porcino (kg/día)

Región Ciénega, Michoacán	Pequeño	Mediano	Grande	TOTAL
Briseñas	339	850	690	1,879
Cojumatlán de Régules	N/D	N/D	N/D	N/D
Jiquilpan	87	127	104	318
Pajacuarán	3,149	5,524	1,664	10,337
Sahuayo	21	66	28	115
Venustiano Carranza	112	742	430	1,284
Villamar	57	394	296	747
Vista Hermosa	7,461	21,103	5,252	33,816
Ixtlán	941	1,669	1,206	3,816
Total	12,167	30,479	9,670	52,316
Porcentajes (%)	23.3	58.3	18.5	100

Tabla 7. Producción de estiércol total

Tipo de ganado	kg/día	Kg/año
Vacuno	287,054	104,774,710
Porcino	52,316	19,095,158
TOTAL	339,370	123,869,868

Producción de biogás

El biogás se produjo a través de un proceso de descomposición anaeróbica de los estiércoles, pasando por las siguientes fases: hidrólisis por bacterias fermentativas, acidogénesis y acetogénesis, para finalmente formarse el metano en la etapa de metanogénesis (Temelis y Ulloa, 2007). La producción de biogás obedecerá al tamaño y especie del animal sin tomar en cuenta una temperatura promedio anual ni la eficiencia de reacción

anaerobia intrínseca del proceso de manera directa. El biogás estimado se obtuvo con los valores de la tabla 8, entre el estiércol producido por día de cada uno de los tamaños y especies estudiadas, afectado por el total de estiércol. La producción de biogás se observa en las tablas 9 y 10.

A pesar de que no se realiza un estudio de bonos de carbono a través del mecanismo de desarrollo limpio debido a que su primer periodo de compromiso culmina a finales de 2012 (Naciones Unidas, 1998), sí se pre-

Tabla 8. Producción de biogás unitaria (Martínez, 2007)

Bovinos	Producción m ³ /animal día
Grande	0.6
Mediano	0.4
Pequeño	0.32
Ternero	0.16
Cerdos	Producción m ³ /animal día
Grande	0.14
Mediano	0.1
Pequeño	0.07

Tabla 9. Producción de biogás en m³/día por municipio y tamaño de ganado Bovino

Región Ciénega, Michoacán	Ternero	Pequeño	Mediano	Grande	TOTAL
Briseñas	43	85	134	68	330
Cojumatlán de Régules	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Jiquilpan	399	592	504	1,480	2,976
Pajacuarán	127	178	222	491	1,018
Sahuayo	142	246	248	676	1,313
Venustiano Carranza	227	397	576	998	2,199
Villamar	147	277	289	816	1,529
Vista Hermosa	72	175	196	487	930
Ixtlán	134	176	229	649	1,188
Total	1,291	2,126	2,399	5,665	11,482
Porcentajes (%)	11	19	21	49	100

Tabla 10. Producción de biogás en m³/día por municipio y tamaño de ganado Porcino

Región Ciénega, Michoacán	Pequeño	Mediano	Grande	TOTAL
Briseñas	24	60	48	132
Cojumatlán de Régules	N/D	N/D	N/D	N/D
Jiquilpan	6	9	7	22
Pajacuarán	220	387	116	724
Sahuayo	1	5	2	8
Venustiano Carranza	8	52	30	90
Villamar	4	28	21	52
Vista Hermosa	522	1,477	368	2,367
Ixtlán	66	117	84	267
Total	852	2,133	677	3,662
Porcentajes (%)	23	58	18	100

senta un estimado de CO₂eq, que se dejaría de arrojar a la atmósfera por el hecho de quemar el metano contenido en el biogás, considerando 50% en volumen de CH₄ (tabla 11) y una vida útil del proyecto a 21 años.

La reducción estimada de emisiones anuales podría comercializarse o negociarse con algún país interesado mediante el *mecanismo de desarrollo limpio* (MDL) (Flores et al., 2008).

Generación de energía eléctrica

Para la estimación de la energía que contiene el biogás, se empleó la información que contiene el *software* del Modelo de Biogás Mexicano v.2.0 (LMOP, 2009), empleando un poder calorífico de 18,852 kJ/m³ de biogás. La eficiencia de los motores de combustión interna que se utilizan para la generación de energía

eléctrica a través de biogás (Jenbacher de GE Tipo 2), con potencia eléctrica de 335 kW es de 36.3% (ISO) (General Electric, 2013), sin embargo, esta última decreció debido a las condiciones de sitio. Dado que no se evaluó una simulación del motogenerador, se consideró un valor de la eficiencia de transformación de 30% como un dato conservador para no mostrar resultados muy elevados y que no pudieran alcanzarse en la realidad; con un factor de planta del 0.9. Al obtener una generación de biogás de 5.53 Mm³ y 2.76 Mm³ de CH₄, con una energía de biogás de 28,947 MWh y 7,884 MWh de energía eléctrica producida, todo permanece constante por año de vida útil del proyecto. Se debe tomar en cuenta que el primer año del proyecto aún no genera energía eléctrica, ya que está asignado a la parte de la construcción y puesta en marcha.

Discusión y análisis de resultados

La energía eléctrica que se puede generar a través del biogás producido por excretas de ganado vacuno y porcino es capaz de sustituir 4.23% aproximadamente de todo el consumo anual de la región Ciénega, sin embargo, monetariamente se podrían ahorrar \$12,309,306 M.N. (911,800 USD) aproximadamente en el año 2013. Los montos de costos de energía eléctrica reportados en el INEGI 2010 corresponden al año 2009, para realizar la aproximación de ahorro al 2013, se afectó la cantidad en 6% anual de incremento en la factura (tabla 12). Mientras que el costo unitario promedio anual de la energía eléctrica resultó ser de 1.24 \$/kWh en 2009, 1.31 \$/kWh en 2010, 1.39 \$/kWh en 2011, 1.47 \$/kWh en 2012 y para 2013 sería de 1.56 \$/kWh.

Estos últimos promedios unitarios anuales contemplaron todo tipo de tarifas de la CFE (comercial, industria, servicios, entre otras), sin embargo, la tarifa para el alumbrado público municipal se encuentra en los servicios públicos, haciendo que este proyecto tenga mayores ventajas. La tarifa promedio anual 5A de la CFE resulta tener un costo mayor que la reportada por el INEGI (tabla 13) (www.cfe.gob.mx).

El ahorro con estos últimos datos sugiere un aumento significativo, independientemente de la tensión que se trate (tabla 14), suponiendo un ahorro de más de \$18,300,000 pesos anuales (\$1,358,198 USD), promediando ambas tensiones (50%/50%). Este último ahorro corresponde al más indicado, ya que sería en la parte de alumbrado público donde tendría más rentabilidad un proyecto municipal con estas características.

Tabla 11. Reducción de emisiones estimada por vida útil del proyecto

41,557	CH ₄
18,326,579	CO ₂ eq

Tabla 12. Costo de energía eléctrica. Fuente: Adaptación datos INEGI

Población	Costo \$/año
Briseñas	8,753,000
Cojumatlán de Régules	8,778,000
Jiquilpan	46,225,000
Pajacuarán	14,286,000
Sahuayo	79,696,000
Venustiano Carranza	19,360,000
Villamar	13,520,000
Vista Hermosa	30,516,000
Ixtlán	9,635,000
Total 2009	230,769,000
2010	244,615,140
2011	259,292,048
2012	274,849,571
2013	291,340,546

Tabla 13. Costo promedio unitario de energía eléctrica anual (\$/kWh), tarifa 5A. Fuente: Adaptación CFE

Tensión	2009	2010	2011	2012	Calculado
					2013
Media	1.686	1.785	1.892	2.003	2.124
Baja	2.004	2.124	2.251	2.385	2.528
Promedio 50%/50%	1.845	1.954	2.072	2.194	2.326

Tabla 14. Ahorro en pesos Mexicanos, por concepto de energía eléctrica @ Tarifa 5A CFE

Tensión	2009	2010	2011	2012	2013
Media	13,292,424	14,071,121	14,916,528	15,795,291	16,743,008
Baja	15,800,749	16,746,222	17,746,884	18,800,308	19,928,326
Promedio	14,546,586	15,408,672	16,331,706	17,297,799	18,335,667

Gracias a que esta zona se encuentra interconectada, puede ubicarse un centro de acopio en donde se destinen las excretas hacia el Biodigestor (Mantilla *et al.*, 2007). Otra alternativa puede ser la generación distribuida, localizando a los biodigestores y plantas generadoras de energía de manera estratégica para aprovechar la ya existente red de CFE (Huttunen, 2011).

El agua que se obtiene después de pasar por el Biodigestor puede ser bombeada a tierras de cultivo o directamente a un canal o cuerpo de agua cercano, mientras que el abono orgánico derivado de la degradación de las excretas se puede depositar directamente en los campos de cultivo de la misma región o en tierras de bajo rendimiento, al mismo tiempo que sustituye gran parte del consumo de fertilizantes comerciales de origen químico (Osorio *et al.*, 2007).

Este proyecto se puede realizar a través de la cooperación de la iniciativa privada, involucrando a los ganaderos y fideicomisos nacionales e internacionales (SENER y GTZ, 2009).

A pesar de que el municipio de Cojumatlán de Répules no presenta datos sobre existencias de ganado, se consideró parte de la región Ciénega para que se tome en cuenta y se incentive la ganadería para contribuir con este proyecto.

Conclusiones

El aprovechamiento de las excretas de ganado bovino y porcino para la generación de biogás y obtención de energía eléctrica para abastecer la región Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo, resulta ser altamente atractivo en cuanto al ahorro que se puede obtener en la factura de CFE en una tarifa 5A para alumbrado público, con una aportación energética total de 4.23% del consumo total de esta región. Así también, se contribuiría a la mitigación de la generación de CO_{2eq} de acuerdo a las disposiciones internacionales para la mitigación del calentamiento global.

Referencias

- Aarons S.R., O'Connor C.R., Gourley C.J.P. Dung Decomposition in Temperate Dairy Pastures I. Changes in Soil Chemical Properties. *Australian Journal of Soil Research*, volumen 42, 2004: 107-114.
- BP. BP, Statistical Review of world Energy, junio de 2012, Londres.
- Casas-Prieto M.A., Rivas-Lucero B.A., Soto-Zapata M., Segovia-Lerma A., Morales-Morales H.A., Cuevas-González M.I., Keissling-Divison C.M. Estudio de factibilidad para la puesta en marcha de los digestores anaeróbicos en establos lecheros en la cuenca de delicias, Chih. *Revista Mexicana de Agroquímicos*, volumen 8 (número 24), enero-junio de 2009: 745-756.
- Flores R., Muñoz-Ledo R., Flores B.B., Cano K.I. Estimación de la generación de energía eléctrica a partir de biomasa para proyectos del programa de mecanismos de desarrollo limpio. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, volumen 7 (número 1), abril 2008: 35-39.
- General Electric. Jenbacher GE Tipo 2, Productos [en línea] [fecha de consulta: 28 de abril de 2013]. Disponible en: <http://site.ge-energy.com/prod_serv/products/recip_engines/es/type2.htm>
- Herrick J.E., Lai R. Dung Decomposition and Pedoturbation in a Seasonally Dry Tropical Pasture. *Biol Fertil Soils*, volumen 23, 1996: 177-181.
- Huttunen S. Embeddedness in Local Farm-Scale Bioenergy Production. *Revista de Estudios sobre Despoblación y Desarrollo Rural*, (número 11), octubre de 2011: 107-127.
- LMOP, 2009. Modelo de biogás mexicano v.2.0. [Programa ordenador], Washington, DC, [Usado: 27 de junio 2012]. Disponible en: <http://www.epa.gov/lmop/international/mexicano.html>.
- Mantilla-González J.M., Duque-Daza C.A., Galeano-Urueña C.H. Diseño y estudio económico preliminar de una planta productora de biogás utilizando residuos orgánicos de ganado vacuno. *Revista Ingeniería e Investigación*, volumen 27 (número 3), diciembre de 2007: 133-142.
- Martínez C.C. Volumen de biodigestores. Energía y tú, (número 39), julio-septiembre de 2007 [en línea]. [Fecha de consulta: 2 de octubre de 2012]. Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia39/HTML/articulo04.htm>.
- Naciones Unidas. Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático, 1998 [en línea] [Fecha de consulta: 7 de octubre de 2012] Disponible en: http://unfccc.int/portal_espanol/documentacion/lista_de_documentos/items/3339.php.
- Osorio-Saraz J.A., Ciro-Velásquez H.J., González-Sánchez H. Evaluación de un sistema de biodigestión en serie para clima frío. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, volumen 60 (número 2), 2007: 4145-4162.
- Secretaría de Energía (SENER) y Deutsche Gesellschaft Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Energías renovables para el desarrollo sustentable en México, 2009 [en línea]. Disponible en: <http://www.sener.gob.mx/portal/Default.aspx?id=1433>.
- Serrato-Sánchez R., Ortiz-Arellano A., Dimas-López J., Berúmen-Padilla S. Aplicación de lavado y estiércol para recuperar suelos salinos en la comarca lagunera, México. *Terra Latinoamericana*, volumen 20 (número 3), julio-septiembre, 2002: 329-336.
- Temelis N.J., Ulloa P.A. Methane Generation in Landfills. *Renewable Energy*, volumen 32, 2007: 1243-1257.
- Vadas P.A., Aarons S.R., Butler D.M., Dougherty W.J. A New Model for Dung Decomposition and Phosphorus Transformations and Loss in Runoff. *Soil Research*, volumen 49, 2011: 367-375.

Este artículo se cita:**Citación estilo Chicago**

Vera-Romero, Iván, José Martínez-Reyes, Melitón Estrada-Jaramillo, Agustina Ortiz-Soriano. Potencial de generación de biogás y energía eléctrica. Parte I: excretas de ganado bovino y porcino. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, XV, 03 (2014): 429-436.

Citación estilo ISO 690

Vera-Romero I., Martínez-Reyes J., Estrada-Jaramillo M., Ortiz-Soriano A. 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.

Semblanza de los autores

Iván Vera-Romero. Realizó los estudios de Licenciatura en el Instituto Tecnológico de Orizaba (ITO), en donde obtuvo el grado de ingeniero mecánico en 2001. Asimismo el grado de maestro en energía, sistemas energéticos: procesos y uso eficiente de la energía por la Universidad Nacional Autónoma de México en 2011. Actualmente labora como profesor-investigador de la Universidad de la Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo.

José Martínez-Reyes. Realizó los estudios de licenciatura en el Instituto Politécnico Nacional (IPN), en donde obtuvo el grado de ingeniero químico industrial en 1990. También obtuvo el grado de maestro en tecnología avanzada por el Instituto Politécnico Nacional en 2007. Actualmente labora como profesor-investigador de la Universidad de la Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo.

Melitón Estrada-Jaramillo. Realizó los estudios de licenciatura en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), en donde obtuvo el grado de ingeniero mecánico en 2002. Asimismo, el grado de maestro en ciencias en ingeniería mecánica en el área de termofluidos: sistemas de postcombustión para la disminución de contaminantes, por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en 2004. Actualmente labora como profesor-investigador en la Universidad de la Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo y es coordinador de la trayectoria de ingeniería en energía.

Agustina Ortiz-Soriano. Realizó los estudios de licenciatura en filosofía en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Obtuvo el grado de maestra en ciencias de la educación por el Instituto Superior de Ciencias de la Educación del Estado de México en 2009 y el grado de maestra en humanidades (filosofía política) en la UAM en 2010. Actualmente labora como profesor-investigador de tiempo completo en la Universidad de la Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo.