

Análisis de la capacidad de producción de energía por medio de tratamiento biológico de los residuos generados en los rastros del estado Guanajuato

Miriam Medina, Oscar Vargas, Claudia Bustamante, Vicente Cisneros, Alberto Vázquez

M. Medina, O. Vargas, C. Bustamante, V. Cisneros y A. Vázquez
Universidad Tecnológica de Salamanca, 204
mmedina@utsalamanca.edu.mx

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

Abstract

The estimation of the capacity of production of useful energy within town slaughterhouse of Guanajuato State is of great importance, since there is no appropriate management of waste generated by the slaughter and dressing of animals causing severe environmental damage so it is important to find a viable alternative that not only remedy the problem but also provide an input and is biogas which can be converted into electricity and heat through a heat and power co-generator to be utilized within the same slaughterhouse. The results of statistical analysis on the number of animals that are slaughtered annually in Guanajuato State show that biological treatment would generate enough electricity to supply a slaughterhouse and even a surplus biogas would be generated by setting the self-sustainability of the process.

14 Introducción

El Estado de Guanajuato esta localizado en la mesa central y al sur de la altiplanicie mexicana; posee una extensión territorial de 30,628.17 Km² (1.6% del territorio nacional) y una población de 5'486,372 habitantes y con una tasa de crecimiento poblacional del 1.6% (INEGI, 2010a), lo que lo coloca en el sexto estado mas poblado a nivel nacional. Con los datos anteriores se puede establecer que satisfacer la necesidad de alimento para todos los habitantes del Estado, específicamente carne no es una tarea sencilla.

La producción de carne en condiciones sanitarias adecuadas es una necesidad colectiva de suma importancia, la industria encargada de satisfacer dicha necesidad en nuestro país es conocida como rastro.

Un rastro o matadero es todo aquel establecimiento donde se lleva a cabo el sacrificio y faenado de animales para abasto (NOM-194-SSA1-2004).

Los rastros pueden ser municipales, privados y tipo inspección federal (TIF). El número total de rastros en México es de 1,151 de los cuales 54 pertenecen al Estado de Guanajuato siendo 37 municipales, 10 privados y 7 tipo TIF (SAGARPA, 2013).

Figura 14 Residuos generados dentro de los rastros: estiércol, contenido ruminal y sangre y vísceras colectadas



Fuente: Elaboración propia

Todos los Rastros generan, en las diferentes etapas del proceso de obtención de carne, un importante volumen de aguas residuales que son vertidas directamente a cuerpos de agua (ríos, arroyos, lagunas) o al drenaje municipal, recibiendo tratamiento posterior un pequeño porcentaje del total de las aguas vertidas, y una gran cantidad de residuos sólidos como el contenido estomacal e intestinal de los animales, sangre o carne rechazada (figura 14).

La cantidad y composición de los residuos líquidos y sólidos generados en los procesos de sacrificio dependen del tipo de animal que se sacrifique, de los métodos de sacrificio y del tipo de equipo utilizado. En la Tabla 1 se presentan las principales fuentes de generación de residuos dentro de un rastro típico (Medina, 2010). Estos residuos generan un grave problema ambiental y de salud pública.

Tabla 14 Fuentes de generación de los residuos dentro del rastro

PROCESO	RESIDUO GENERADO
Encorralamiento de animales	Animales muertos, estiércol, paja y forraje
Matanza (desangrado)	Sangre
Remoción de pieles (desollado)	Sangre y pelo
Inspección de carne	Carne rechazada
Manejo de canales	Residuos de corte, carne rechazada y grasa
Manejo de vísceras	Contenido estomacal o intestinal
Limpieza general	Trozos de carne, coágulos de sangre
Curado de pieles	Aguas residuales con alto contenido de sales
Servicios (oficinas y sanitarios)	Papel, residuos de oficinan, aguas residuales

Fuente: Medina, 2010

Durante el 2013, el Estado de Guanajuato fue uno de los principales productores del país de carne en canal de los cuatro tipos de ganado (bovino, porcino, ovino y caprino). Con respecto a la producción de carne en canal de ganado bovino y porcino se encuentra en el tercer lugar con un 7.7% y 8.2% del total de la producción a nivel nacional, respectivamente. Para la producción de carne de ganado ovino se encuentra en sexto lugar con un 7.4% de la producción nacional, y con respecto a la producción de carne de ganado caprino se encuentra en primer lugar con un 26.3% de la producción total nacional. El número de cabezas sacrificadas en los rastros municipales (incluye ganado bovino, porcino, ovino y caprino) en Guanajuato fue de 577,112 lo que representa el 7.94% a nivel nacional, generando una producción de carne en canal de 72,027 toneladas, la cual se distribuyó de la siguiente manera: 61.79% de carne bovina, 37.43% porcina, 0.3% ovina y el restante 0.48% de caprina (INEGI, 2014), contribuyendo a la generación de residuos.

Estudios previos han demostrado que los residuos tanto líquidos como sólidos que se generan en los rastros pueden ser tratados por digestión anaerobia para la producción de biogás, algunos de los estudios se muestran en la tabla 2. La digestión anaerobia es un proceso biológico donde un conjunto de diferentes microorganismos en ausencia de oxígeno son capaces de degradar la materia orgánica produciendo una mezcla de gases principalmente dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄), llamada biogás, y sólidos estabilizados. Utilizando el proceso de digestión anaerobia es posible convertir gran cantidad de residuos orgánicos, ya sean vegetales o animales como los estiércoles, aguas residuales municipales.

El biogás es producido en la digestión anaerobia de los residuos orgánicos, es por ello que es un combustible limpio y amigable con el medio ambiente, constituido principalmente por 50 – 70% de CH₄ y entre un 30 – 40% de CO₂, también puede tener fracciones de vapor de agua, trazas de H₂S e H₂, y posiblemente otros contaminantes (Deublin y Steinhäuser, 2008). Hay cuatro rutas básicas para la utilización del biogás: producción de calor y vapor, generación/cogeneración de electricidad, como combustible para vehículos, y para producir químicos (Apples *et al*, 2008).

La implementación de sistemas de tratamiento de residuos de rastros óptimos, sustentables y amigables con el medio ambiente es hoy en día una necesidad inminente. El presente estudio proporcionará datos sobre la capacidad de producción de energía útil (eléctrica y calorífica) por medio de la implementación de sistemas de tratamiento biológico de los residuos generados dentro de los rastros del Estado de Guanajuato con la finalidad de dar solución a la problemática ocasionada por el manejo inadecuado de los residuos y a su vez generar energía por medio del aprovechamiento del biogás producido. La energía puede ser utilizada dentro del mismo rastro disminuyendo gastos directos del proceso y al aprovechar el biogás que se genera por la descomposición de los residuos se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, y disminuyen los daños ocasionados al suelo y a los sistemas acuáticos, sin embargo la evaluación económica y ambiental será la continuidad al presente trabajo.

Tabla 14.1 Resumen de estudios previos realizados al biogás

AUTOR (ES)	AÑO	RESIDUO GENERADO
Marcos <i>et al</i>	2010	Realizaron un estudio con residuos sólidos de rastro (con una proporción de 6% sólidos, 10% purines y 84% sangre y agua de limpieza) en un reactor de mezcla completa en continuo en donde se obtuvieron eficiencias de remoción de materia orgánica del 22% así como rendimientos de biogás de 7.84 L por kg de residuo añadido
Álvarez	2004	Realizó una codigestión entre residuos provenientes de rastro y residuos de mercado, comparó diferentes cargas de 15 sólidos donde determinó que la concentración más adecuada fue de 4% de SV obteniendo una productividad de 557 L de metano por kg de SV alimentado. Posteriormente, se llevó el proceso a escala laboratorio, se investigó el efecto en la producción de biogás y la reducción de sólidos volátiles sobre los siguientes factores: temperatura, composición de la mezcla, tiempo de retención y porcentaje de SV en la alimentación. De aquí se determinó que la temperatura más adecuada fue de 36 °C, con una proporción del 17% residuos de mercado, 67% de la mezcla de rumen / sangre y 17% de estiércol. El rendimiento del metano fue de 634 L por kg de SV adicionado.
Flores	2008	Estudió a la digestión anaerobia como tratamiento de residuos de rastro, realizó pruebas en lote y continuo obteniendo eficiencias de 58 y 81% para la remoción de DQO, respectivamente, así como rendimientos de biogás de 16.4 L por kg de residuo alimentado. Al final concluyo, que este tratamiento disminuye la cantidad de los contaminantes orgánicos presentes en este tipo de residuos, biogás y se obtiene un producto estabilizado, susceptible de ser empleado como fertilizante o mejorador de suelos.
Medina	2010	Consistió en comparar el proceso en una y dos etapas, con lo cual se obtuvo que la remoción de materia orgánica es la misma (56% de DQOt) pero la productividad de biogás (0.376 m ³ / m ³ * d) es mayor para el proceso de dos etapas con respecto al de una etapa (0.278 m ³ / m ³ * d) indicando que en este proceso se maximiza la producción de biogás.

Fuente: Elaboración propia

14.1 Método

El presente proyecto se realizó bajo un esquema metodológico de análisis cuantitativo de tipo deductivo con datos estadísticos proporcionados en instituciones gubernamentales libres al público; a fin de conocer las condiciones actuales en cuanto al impacto de la implementación de sistemas de tratamiento anaerobio de residuos generados en el proceso de matanza y faenado en los Rastros para la obtención de biogás y su conversión a energía eléctrica y/o calorífica.

El estudio se estructuró en dos fases: La primera denominada como fase de investigación y documentación, la cual implica la búsqueda y recolección de información verás para el arranque del proyecto. Entre la información que se obtuvo están las Estadísticas de sacrificio de ganado en rastros municipales por entidad federativa 2008-2013 del INEGI y algunos artículos sobre el rendimiento total de las canales de los diferentes ganados. En la segunda fase se estableció el sistema de tratamiento de los residuos para un rastro, conforme a los diferentes digestores estudiados en la bibliografía. Con los datos obtenidos en la primera fase y el diagrama del sistema de tratamiento se desarrolló una hoja de cálculo (figura 14.1).

Mediante el cual se puede determinar la cantidad de biogás que es posible producir a partir de los residuos alimentados al tren de tratamiento dentro del rastro, los datos utilizados para esta hoja de cálculo son datos teóricos como la energía en el biogás suponiendo una composición de 55% de CH₄ que es el valor medio de lo reportado hasta el momento cuando el biogás no se purifica, el valor energético del metano, también se utilizaron los datos experimentales reportados por Medina (2010) y Medina *et al* (2013), y lo datos calculados en la fase 1 del presente trabajo. También calcula la cantidad de energía térmica / eléctrica que se produciría con dichos residuos, mediante el uso de un cogenerador de calor y potencia (CHP), el cual tiene una eficiencia de 35 y 40% para energía eléctrica y térmica, respectivamente (Murphy et al, 2004). La producción de residuos diaria dentro del rastro es un parámetro que varía dependiendo de la demanda de carne que se tenga en cada municipio, por lo cual se tomo como dato base el obtenido en la primera fase del proyecto de residuo por día como flujo del tren de tratamiento propuesto para correr el programa

Figura 14.1 Hoja de cálculo para la determinación de la cantidad de biogás y la conversión del mismo en energía eléctrica y calorífica mediante el uso de un cogenerador de calor y potencia (CHP)

A		B		C		D		E		F		G		H		I	
Parámetros		Parámetros		Parámetros		Parámetros		Parámetros		Parámetros		Parámetros		Parámetros		Parámetros	
14	C4 (m3/día)	2.090	X1% de agua en U1	100	S14	90	Rd.N1(m3 biogas/KgDQ01 alimentada)	0.045	entada)			2.223					
15	S16 g/Kg	174.6	S13	0	%Rem S12	1.51	%Rem S16	10.10	%Rem S18			55.71					
16	S16 g/Kg	123.60	S05	0	%Rem S02	0.21	%Rem S06	0.63	%Rem S08			27.60					
17	DQ010 g/L Kg/m3	232.32	DQ013	0	%Rem DQ012	2.23	%Rem DQ016	3.72	%Rem DQ018			52.8					
18	DQ050 g/L Kg/m3	131.09	DQ053	0	%Rem DQ052	-64.77	%Rem DQ056	7.20	%Rem DQ058			53.9					
19	Densidad sustrato (ton/m3)	1.95	Densidad agua (ton/m3)	1	Temperatura residuo, °C		Temperatura Pretratamiento, °C	60									
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	
29																	
30																	
31																	
32																	
33																	
34																	
35																	
36																	
37																	
38																	
39																	
40																	
41																	
42																	
43																	
44																	
45																	
46																	
47																	
48	Biomasa totala (ton/año)																
49	Producción de biogás(m3/año)																
50	Volumen RA, m3 (TRH-3daa)																
51	Volumen RD, m3 (RM-10daa)																
52	Días de operación al año																
53	Valor energético del metano (MJ/m3)																
54	Composición de CH4 en el biogás%																
55	Composición de CO2 en el biogás%																
56	Valor energético del biogás (MJ/m3)																
57	Energía en el biogás (MJ/año)																
58	Energía en el biogás (KW)																
59	Producción de electricidad KW (35% art. Murphy)																
60	Producción de electricidad KW/año																
61	Requerimiento de energía eléctrica en el sitio HP																
62	Requerimiento de energía eléctrica en el sitio KW																
63	Requerimiento de energía eléctrica en el sitio KW/año																
64	Cap de residuos agredistribuidos (Kg/año)																
65	Producción de termal KW(40% art. Murphy)																
66	Producción termal KW/año																
67	Requerimiento de energía termal en el sitio Q (KJ/día)																
68	Requerimiento de energía termal en el sitio Q (KW)																
69	Requerimiento de energía termal en el sitio Q (KW/año)																
70	Excedente de energía termal Q (KW/año)																
71																	
72																	

Fuente : Elaboración propia

14.2 Resultados y discusión

En la primera fase se realizó un análisis de aproximación sobre la cantidad de residuos generados en los rastros del Estado de Guanajuato en los últimos seis años, para esto primeramente se obtuvo el número de cabezas sacrificadas para cada tipo de ganado y la producción de carne en canal en el periodo establecido los datos se obtuvieron del INEGI (tabla 3). Para determinar la cantidad aproximada de residuos generados por la matanza de los animales se buscaron datos sobre el rendimiento en canal y subproductos de los diferentes ganados, estos datos se muestran en la tabla 4.

Tabla 14.2 Número de cabezas sacrificadas y canal producida en el Estado de Guanajuato

TIPO DE GANADO	AÑO						MEDIA
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
	Número de cabezas sacrificadas						
Bovino	182700	192740	192427	201676	198910	182388	191807
Porcino	373008	332600	333608	327570	338973	365849	345268
Ovino	13900	12712	11945	10780	9489	9409	11373
Caprino	29969	26449	24164	21136	19826	19466	23501
Total	599577	564501	562144	561162	567198	577112	571949
	Producción de carne en canal en toneladas						
Bovino	41847	42807	44195	47257	45420	44504	44338
Porcino	27182	23772	23639	23903	24970	26959	25071
Ovino	307	285	272	240	216	220	257
Caprino	522	461	425	382	357	344	415
Total	69858	67325	68531	71782	70963	72027	70081

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de INEGI (2014)

Con los datos de rendimiento se puede calcular peso vivo de los animales (ecuación 1), ya que el porcentaje del rendimiento corresponde al peso en canal del ganado.

Por lo tanto, se puede obtener primeramente el peso vivo aproximado de los animales sacrificados y posteriormente con la diferencia del rendimiento en canal y del rendimiento de los subproductos se puede obtener el porcentaje de los residuos o desperdicios, estos análisis se muestran en la tabla 4.

$$\text{Peso vivo (toneladas)} = \frac{\text{Peso en canal (toneladas)}}{\% \text{ Rendimiento}} \times 100 \% \quad (14)$$

Tabla 14.3 Cálculo de la cantidad de residuos generados anualmente por ganado y animal

TIPO DE GANADO	RENDIMIENTO EN CANAL %	RENDIMIENTO DE LOS SUB-PRODUCTOS %	POCENTAJE DE RESIDUOS GENERADOS %	PESO DE LA CANAL PROMEDIO PRODUCIDA POR AÑO (ton)	PESO VIVO PROMEDIO POR GANADO SACRIFICADO ANUALMENTE (ton)	CANTIDAD DE RESIDUOS PROMEDIO GENERADOS POR GANADO ANUALMENTE (ton)	NUMERO DE CABEZAS SACRIFICADAS PROMEDIO ANUALMENTE	PESO VIVO PROMEDIO POR ANIMAL SACRIFICADO (kg)	CANTIDAD DE RESIDUOS PROMEDIO GENERADOS POR ANIMAL SACRIFICADO ANUALMENTE (kg)
Bovino	60	30	10	44338	73897	7390	191807	385	39
Porcino	80	5	15	25071	31339	4701	345268	91	14
Ovino	90	3	7	257	286	20	11373	25	2
Caprino	90	3	7	415	461	32	23501	20	1
TOTAL	NA	NA	NA	70081	105982	12143	571949	521	55

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2014), Rebollar et al (2007), Frías et al (2011), Rosas (2010), Hernández et al (2010)

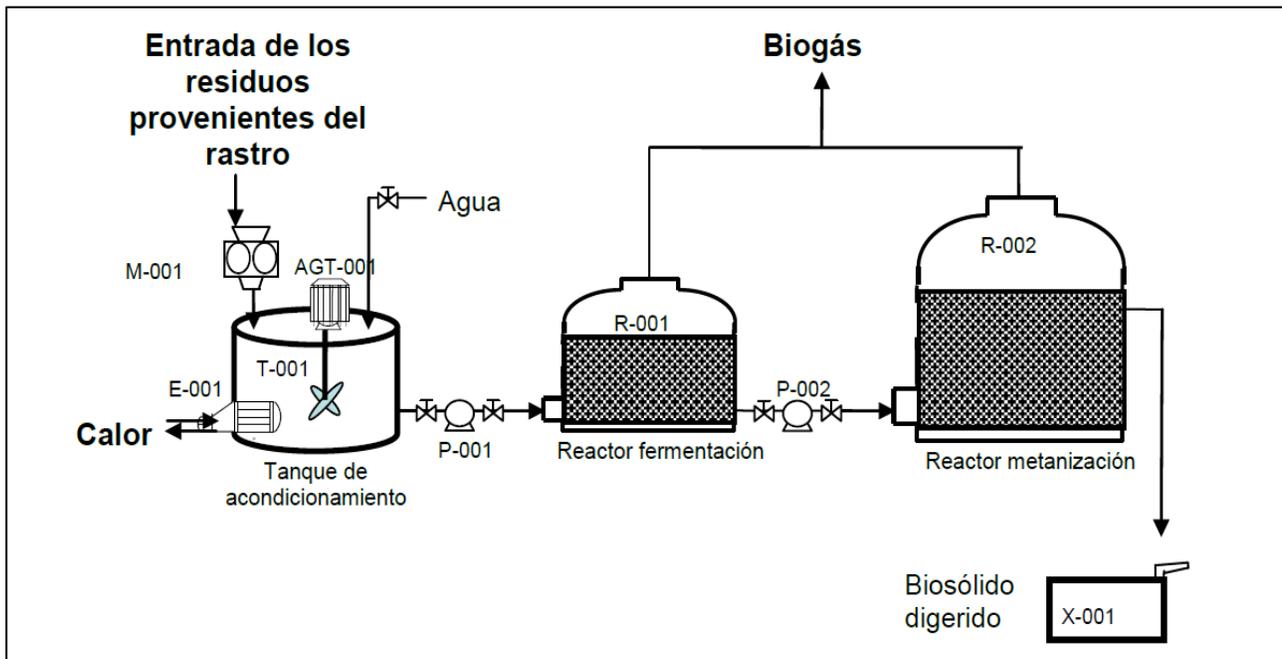
Los rastros municipales laboran alrededor de 300 días al año, por lo cual se dedujo que la generación promedio diaria de residuos es de 40.47 ton/día. El número de rastros municipales del Estado de Guanajuato es de 37, por lo tanto se realizó el cálculo de aproximación para la generación de residuos por rastro obteniendo como resultado 1.1 ton/día de residuos sólidos generados en los rastros. Castillo y colaboradores en el 2012 establecieron que en los rastros municipales en México se tiene un gasto diario de agua de 2,500 L con elevado contenido de materia orgánica. Lo que implica 2 toneladas de aguas residuales, dando un total de 3.5 toneladas de residuos líquidos y sólidos por día generados en un rastro.

El tren de tratamiento para los residuos que se propone se muestra en la Figura 3, consta de las siguientes etapas: triturado de los residuos sólidos (M – 001), acondicionamiento (T – 001, aquí se lleva a cabo un pretratamiento térmico mediante un intercambiador de calor, E – 001, y posteriormente la dilución y homogenización del residuo) es importante reducir el tamaño de partícula y acondicionar los residuos sólidos antes de mezclarlos con las aguas residuales, y el proceso anaerobio se realizaría en dos etapas, fermentación (R-001) y metanización (R-002).

Es importante aclarar que el proceso propuesto se basa en el trabajo realizado por Medina (2010), donde realizó la comparación del proceso de digestión anaerobia en una o dos etapas, obteniendo mayor producción de biogás en el proceso de dos etapas.

En estudios posteriores se estableció que el pretratamiento térmico al sustrato de la digestión anaerobia aumenta la producción de biogás, se estableció que la temperatura óptima de tratamiento es de 60 °C con un rendimiento de 60 mL de CH₄/g de DQOt removida (Medina *et al*, 2013).

Figura 14.2 Diagrama del sistema propuesto para el tratamiento de los residuos generados en los rastros municipales



Fuente: Elaboración propia

Con el uso del programa diseñado para el sistema de tratamiento se llevó a cabo el análisis entre la energía que se produciría y la que requeriría el sistema de tratamiento para tratar el flujo calculado de 3.5 ton de residuos de rastro/ día, durante un año de operación del rastro (suponiendo que el rastro trabaja los 300 días del año), para verificar si el sistema puede ser auto - sustentable.

En la tabla 5, se muestra que en un año se produciría alrededor de 24,467.44 m³/año de biogás al tratar 1,080 ton/año de residuos de rastro. Con la cantidad de biogás mencionada mediante un CHP se producirían 49,428.65 y 56,489.88 kW-h por año, de energía eléctrica y energía térmica, respectivamente. También se muestra el resultado del cálculo de la energía necesaria para el sistema de tratamiento de residuos tanto de energía eléctrica como térmica siendo 13,410 y 22,233.75 kW-h por año, respectivamente.

Con los datos mencionados se puede determinar un excedente de energía eléctrica y térmica de 36,018.65 y 34,256.13 kW-h por año. La producción de biogás del proceso es suficiente para abastecer el sistema de tratamiento, además se tiene un remanente de energía tanto térmica como eléctrica que puede ser utilizada para otros fines dentro del rastro.

Tabla 14.4 Análisis de capacidad de producción de energía útil (térmica y eléctrica) al año

PARÁMETRO	VALOR	PARÁMETRO	VALOR
Residuos totales por tratar (ton/año)	1080.00	Valor energético del metano (MJ/Nm ³)	37.78
Producción de biogás (m ³ /año)	24467.44	Composición de CH ₄ en el biogás, %	55.00
Volumen RA, m ³ (TRH = 3 días)	6.27	Composición de CO ₂ en el biogás, %	40.00
Volumen RM, m ³ (TRH = 9 días)	18.81	Valor energético del biogás (MJ/Nm ³)	20.78
Días de operación al año	300.00	Energía en el biogás (kW)	19.61
Producción de electricidad, kW (35%; Murphy 2004)	6.87	Producción de termal, kW (40%, Murphy 2004)	7.85
Producción de electricidad, kW-h/año	49428.65	Producción termal, KW-h/año	56489.88
Requerimiento de electricidad en el sitio, kW-h/año	13410.00	Requerimiento de energía termal en el sitio, Q, kW-h/año	22233.75
Energía eléctrica remanente, kW-h/año	36018.65	Energía termal remanente, kW-h/año	34256.13

Fuente: Elaboración propia

14.3 Conclusiones

El análisis de capacidad de producción de energía realizado permite concluir que el tratamiento por digestión anaerobia de los residuos generados en los rastros municipales del Estado de Guanajuato es una opción viable, ya que con los residuos que produce actualmente no sólo es capaz de producir la energía necesaria para su auto – abastecimiento, sino que también existe un excedente de energía que puede ser utilizado en otras áreas de los rastros con una finalidad diferente al tratamiento de los residuos generados dentro de éste.

En conclusión el sistema de tratamiento propuesto además de estabilizar la materia orgánica presente en el residuo generaría la producción de un combustible limpio como lo es el biogás el cual puede ser convertido a energía eléctrica y térmica para su aprovechamiento dentro de los establecimientos, y es importante mencionar que también genera un subproducto sólido estabilizado que puede ser utilizado como bioabono.

14.4 Referencias

- Álvarez R. (2004). “Producción anaerobia de biogás – aprovechamiento de los residuos del proceso anaerobio. Monografía. Universidad Mayor de San Andrés. Bolivia.
- Apples L., Baeyens J., Degreve J. y Dewill R. (2008). “Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge”. *Progress in Energy and Combustion Science*. 34:755-781.
- Castillo B. R.E., Bolio R. A., Méndez N. R. I., Osorio R. J. H. y Pat. C. R. (2012). Remoción de materia orgánica en aguas residuales de rastro por el proceso de Contactor Biológico Rotacional. *Ingeniería*, vol. 16, no. 2, pp. 83 – 91.
- Deublein D. y Steinhauser A. (2008). “Biogas from waste and renewable resources, an introduction”. WILEY-VCH.
- Flores J. C.R. (2008). “Tratamiento de Residuos Sólidos Provenientes de rastro mediante Digestión Anaerobia”. Tesis de maestría. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica.
- Frías J. C., Aranda E. M., Ramos J. A., Vázquez C. y Díaz P. (2011). Calidad y rendimiento en canal de corderos en pastoreo suplementados con caña de azúcar fermentada. *Avances en Investigación Agropecuaria*, vol. 15, no. 3, pp. 33 – 44.
- Hernández B. J., Gómez V. A., Núñez G. F. A., Ríos R. F. G., Mendoza M. G. D., García M. J. A., Villegas, A. Y. Hernández S. y Joaquín T. B. M. (2009). Yield of carcass and non-meat components of brown swiss x zebu bullocks in the three feeding systems in a humid tropical climate. *Universidad y Ciencia*, vol. 25, no. 2, pp. 173 – 180.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía, INEGI (2010). Censo de Población y Vivienda 2010. Sistema Nacional Estadística y Geográfica, SNIEG. Información de Interés Nacional. Disponible en: <http://www.censo2010.org.mx/>.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía, INEGI (2014). Estadística de sacrificio de ganado de rastros municipales por entidad federativa durante 2003 – 2008.
- Marcos A., Al-Kassir A., Mohamad A. A., Cuadros F. y López-Rodríguez F. (2010). Combustible gas production (methane) and biodegradation of solid and liquid mixtures of meat industry wastes', *Applied Energy*, vol. 87, no. 5, pp. 1729-35.
- Medina H. M. R. (2010). Optimización del tratamiento de residuos provenientes de rastro mediante digestión anaerobia para maximizar la producción de biogás. Tesis de maestría no publicada, Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica de Querétaro (CIDETEQ), México.
- Medina M., Vargas O., Cisneros V., Bustamante C. y Vázquez R. (2013). Incremento en la solubilidad y producción de biogás al pretratar térmicamente el sustrato. *Ciencias de la Ingeniería y Tecnología*. ECORFAN, vol. II, pp. 199 – 204.
- Murphy J.D., McKeogh E. y Kiely G. (2004). “Technical/economic/environmental analysis of biogas utilization”. *Applied Energy*, vol. 77, pp. 407-427.

Norma Oficial Mexicana NOM-194-SSA1-2004, Productos y servicios. Publicada en el Diario Oficial de la Federación.

Rebollar R. S., Hernández M. J., García S. J. A., García M. R., Torres H. G., Bórquez G. J. L. y Mejía H. P. (2007). Canales y márgenes de comercialización de caprinos en Tejupilco y Amatepec, Estado de México. *Agrocien*, vol. 41, no. 3, pp. 363 - 370.

Rosas V. J. C. (2010). Análisis del rendimiento y magrez de la canal de cerdo en una institución educativa. Tesis de licenciatura publicada. Universidad Michoacana de San Nicolas Hidalgo, México. Disponible en:
<http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/jspui/bitstream/123456789/293/1/ANALISISDELRENDIMIENTOYMAGREZDELACANALDECERDOENUNAINSTITUCIONEDUCATIVA.pdf>

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, SAGARPA (2013). Capacidad instalada para sacrificio de especies pecuarias. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP.
Disponible en: http://www.siap.gob.mx/opt/estadistica/pecuaria/int_rastros2013.pdf