

POTENCIAL DE GENERACIÓN DE ENERGÍA DE BIOGÁS EN LA CIUDAD DE MÉXICO

^aGutiérrez Castro Lucía Mónica, ^aQuinto Diez Pedro, ^bTovar Gálvez Luis Raúl,

^aAbugaber Francis Juan, ^aCarvajal Mariscal Ignacio, ^aGeorgiy Polupan

^aInstituto Politécnico Nacional ESIME-Zacatenco

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, LABINTHAP.

Av. IPN s/n, UPALM Edif. 5, 3er piso, C.P. 07738 México, D.F.

^bCentro Interdisciplinario de Investigaciones Sobre Medio Ambiente y Desarrollo.

Instituto Politécnico Nacional.

Calle 30 de Junio de 1520 s/n, Barrio La Laguna Ticomán, C.P. 07340 México, D.F.

moni-80-lgc@hotmail.com

RESUMEN

El biogás es un combustible que sustituye a los fósiles, siendo una alternativa para la generación de energía. El presente estudio se enfoca en la estimación del potencial de energía obtenida a partir del aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU), generados en la Ciudad de México al día. Para la estimación se consideraron tres cantidades de FORSU, 500, 1,000 y 3,000 ton/día. La cantidad de metano en la composición del biogás se consideró de 50 a 75%, con un rango de sólidos volátiles de 10 a 20%. En los resultados se muestra un elevado potencial de generación de energía de calor y eléctrica utilizando cogeneración de 420,000 MW-h/año y 370,000 MW-h/año respectivamente. Dicha energía eléctrica podría ser distribuida en aproximadamente 300,000 hogares beneficiando a más del 10% de la población.

Palabras claves: Biogás, Residuos sólidos municipales, Generación de Energía

INTRODUCCIÓN

La problemática medioambiental a escala mundial se centra actualmente en dos importantes aspectos: a) el incremento de la emisión de gases que potencian el efecto invernadero a partir del consumo de combustibles fósiles y b) la generación exponencial de residuos sólidos urbanos (RSU), tanto orgánicos como inorgánicos [Gutiérrez Castro, 2011]. En particular, en la Ciudad de México se generan alrededor de 11,000 a 12,000 ton/día, de los cuales aproximadamente 4,800 ton/día pertenecen a la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU), [Tovar et al., 2003]. Se prevé que la generación de RSU continúe aumentando a una tasa de 1.75% anual, [Mario Rios & Martin Kaltschmitt, 2013].

Un manejo eficiente de los RSU contribuye en la reducción de la generación y la contaminación ambiental. Cabe mencionar que el metano producido de la descomposición natural de los residuos orgánicos (RO), es considerado un gas de efecto invernadero 23 veces más contaminante que el CO₂, con un potencial de calentamiento global de 28 a 100, [David T. Allen, 2014].

Por lo tanto, se plantea el aprovechamiento de la FORSU mediante digestión anaerobia (DA). El proceso de DA cumple dos funciones: primero, convierte los RO en productos estables, y segundo, genera biogás y del residuo de la digestión se obtiene un producto de alto valor

nutrimental (digestato), que puede ser usado en la agricultura, como restaurador de suelos, saneamiento de áreas verdes e incluso como inóculo para el mismo proceso [Novarino D. & Zanetti M. C., 2008].

El biogás generado de la DA es un gas natural compuesto por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), derivado de la descomposición natural de los RO. El contenido energético del biogás está determinado por la cantidad de metano en la composición (38 MJ/m^3), el porcentaje de CH_4 en la mezcla va de 50 al 75% dependiendo del sustrato (tipo de RO a tratar), [González Velasco Jaime, 2009]. Las ventajas de este gas son la generación de calor en una caldera, generación de electricidad en motores de combustión interna o turbinas, en celdas de combustible previa realización de una limpieza de H_2S y otros contaminantes contenidos en el biogás y también puede ser inyectado en la red de transporte de gas natural mediante una previa purificación y agregación de los aditivos necesarios. Además se puede usar como material de base para la síntesis de productos de elevado valor agregado como el metanol o el gas natural licuado [Emilio Cerdá, 2009].

Para que la FORSU pueda ser aprovechada se requiere de una cultura de separación de residuos en fuente. Con la promulgación de la *Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal*, publicada en la Gaceta del Distrito Federal, el 22 de abril de 2003 y con base, fundamentalmente en su Art. 33, el “Programa para la Separación de Residuos Sólidos” tuvo un giro en su operación a partir de que la separación adquiere un carácter obligatorio y considera dos fracciones: residuos orgánicos e inorgánicos [Tovar et al., 2012]. El programa fue un éxito en su inicio (2011), reportando una importante recepción de residuos orgánicos (RO) a la planta de composta de Bordo Poniente (PCBP), con un grado de pureza del 99% lo que implicó que solo el 1% fueron residuos inorgánicos como envases y bolsas de plástico [Tovar et al., 2014]. La Secretaría de Obras y Servicios, a través de la Dirección General de Servicios Urbanos de la Ciudad de México, es la encargada de la recolección y distribución a las 13 estaciones de transferencia para ser llevadas a su sitio de disposición final

que es la PCBP, pero esta planta está rebasando su límite de saturación, por lo que necesario aprovechar la planta de composta para la generación de energía a partir del biogás. Actualmente se han acumulado más de 70 millones de toneladas de RO en 375 hectáreas [Orta et al., 2014].

Partiendo de lo anterior, el presente estudio proporciona datos sobre la cantidad de energía que puede ser generada del tratamiento de la FORSU en la Ciudad de México con el fin de dar una contribuir tanto en el manejo eficiente de los RO y en la generación de energía limpia.

Se evalúa el potencial de generación de energía utilizando biogás al tratar de 500 a 3,000 toneladas de la FORSU. Las cantidades consideradas para el cálculo fueron elegidas tomando en cuenta la cantidad de RO que llega a la PCBP y el tamaño de instalación de la planta de biogás (PB). Para los cálculos de la estimación de la cantidad de metano generado se consideró un rango de 50 a 75% de concentración de metano en el biogás y un rango de sólidos volátiles (SV) de 10 a 20%.

El biogás como alternativa energética a nivel mundial

La generación de biogás es una práctica común en varios países de Europa y Asia, la cual representa una forma alterna de generación de combustible ante los combustibles fósiles y en muchos casos también una alternativa limpia para la reducción de emisiones de contaminantes en la generación de energía. A continuación se presentan ejemplos de la implementación de PB en diferentes países. Karagiannidis A. et al. (2012), reportó que el biogás generado en las PB en Grecia, es inyectado a la red de gas natural, luego de ser purificado. El gas natural se surte a Bulgaria, entrando a una presión inicial de 70 bar, de ahí se disminuye su presión hasta 10 bar para industrias y finalmente a 4 bar para su consumo general. Surroop D. y Begué O. D. (2012), reportan la implementación de generación de biogás en la Isla Rodríguez, República de Mauricio al sur oeste del Océano Índico, zona de difícil acceso para hacer llegar el gas LP y no dispone de leña debido a la

deforestación, se utiliza el biogás principalmente para las cocinas en los hogares.

Ji-ning Chen et al., (2006), reportó que en el 2000 en China, el número de usuarios de biogás alcanzaron los 7.55 millones y el total del volumen producido fue de 22,600 millones de m^3 . El número de proyectos rurales para la obtención de biogás podrá aumentar hasta 4,100 con una capacidad de generación de biogás de 450 millones de m^3 (equivalente a 580,000 toneladas de carbón) y una capacidad de tratamiento para las heces de 123 millones de toneladas para el 2015. Bernhard Raninger y Li Rundong, (2007), indicaron que el potencial de generación de biogás planteado hasta el 2050 será mayor a 19 billones $Nm^3/año$ con un potencial energético aproximadamente de 11.8 GW, tomando en cuenta una urbanización del 70%, un incremento anual del 0.8% de RSU, un índice de separación de residuos biológicos del 70 al 80% y un incremento en la separación en fuente del 40 al 75%. En la Unión Europea hasta el 2010 se tenía una producción bruta de energía eléctrica a partir del biogás de 67.5 millones de kW-h al año y se estima que aumente considerablemente para el 2020. A nivel europeo hay que destacar a la empresa austriaca Profactor, empresa que nació como una *spin-off* de la Sociedad para la Promoción de Modernización de Tecnologías de Manufactura en Austria, (*Society for the Promotion of Modernisation of Manufacturing Technologies in Austria*, VPTÖ). Uno de los centros de atención de la empresa es el desarrollo de innovaciones que utilicen energías renovables como fuente de energía (por ejemplo el uso de biogás en pilas de combustible). Está especializada en el uso, tratamiento y limpieza de gases de origen biológico mediante biofiltros para remover las impurezas del biogás, [M^a José Cuesta, et al., 2010].

Actualmente más del 30% de las aproximadamente 400 plantas de biogás en Europa trabajan con un sistema de digestión anaerobia seco con un porcentaje de contenido de sólidos del 25 al 40%. Este proceso fue patentado por DRANCO process by Organic Waste Systems. Con este proceso se reportó la disminución de energía requerida para el

calentamiento de la mezcla. Normalmente el 10% de la producción de biogás es usado para el calentamiento del proceso [OWS Systems, 2013].

Lo anterior muestra el evidente atraso que se tiene en cuanto al aprovechamiento de la FORSU en México y que es tiempo de aprovechar dichos residuos para generar energía.

METODOLOGÍA

Composición del biogás

A las condiciones que se genera el biogás (cercanas a las condiciones atmosféricas), éste se puede tratar como una mezcla de gases ideales. Así, la fracción volumétrica del componente i (relación entre el volumen del componente i y el volumen total de la mezcla, V_i/V) es igual a la fracción molar correspondiente (relación entre el número de moles del componente i y el número de moles totales de la mezcla, n_i/n), Y_i . Un ejemplo de la composición del biogás, dependiendo del sustrato y del tipo de tecnología utilizada, puede ser la siguiente: 50-75% de metano (CH_4), 25-50 % de bióxido de carbono (CO_2) y una cantidad inferior al 5 % compuesta de hidrógeno (H_2), ácido sulfhídrico (H_2S) y otros gases, como se muestra en la tabla 1. En esta misma tabla se indican las concentraciones de cada componente en la mezcla de biogás [Surendra K. C. et al. 2014].

Estimación de biogás generado de la FORSU

Se realizó la estimación de la cantidad de biogás generado considerando únicamente el CH_4 y el CO_2 , por ser estos los gases de mayor concentración en el biogás. Se determinó la masa molar del biogás tomando en cuenta los dos componentes en concentraciones diferentes. Los valores de masa molar de la mezcla de biogás para diferentes concentraciones de metano permiten determinar la energía química contenida en la mezcla, y poder estimar la energía que se puede obtener para cada caso [Yunus A. C. and Afshin J. G., 2007].

La cantidad de producción de biogás depende del sustrato utilizado para alimentar los digestores. Existen varias opciones para mejorar la

Componentes	Concentración	Propiedades
CH ₄	50-75% (v/v)	Portador de energía
CO ₂	25-50% (v/v)	Disminuye el valor calorífico de mezcla
H ₂ S	0-5000 ppm (v/v)	Corrosivo
NH ₃	0-500 ppm (v/v)	NOx-Emissiones durante la combustión
N ₂	0-5% (v/v)	Disminuye el valor calorífico
Vapor de agua	1-5% (v/v)	Facilita la corrosión en presencia de CO ₂ y dióxido de azufre (SO ₂)

Tabla1.- Composición y propiedades del biogás

producción de biogás de estos residuos. Por ejemplo, la mezcla con residuos de mayor producción potencial (codigestión), mediante pretratamientos para mejorar la degradabilidad del sustrato, o aumentar la temperatura para aumentar la velocidad de crecimiento de los microorganismos y la eficiencia de la fase hidrolítica [Campos E. et al., 2001].

Los cálculos para la estimación del biogás generado se realizan tomando en cuenta una concentración de SV 10 a 20% de la FORSU [Angelidaki y Ahring, 1997], lo que significa que por cada kg de FORSU tratada, en promedio se genera de 0.1 a 0.2 kg de biogás. Para el cálculo de la cantidad de gas generado, en este reporte se plantean tres escenarios de tratamiento de FORSU para una planta con capacidad de 500, 1000 y 3000 ton-día.

Conversión del biogás a energía eléctrica y de calor

La conversión de la energía química a energía térmica se hace mediante la combustión de un combustible (en el caso aquí tratado, biogás); posteriormente esta energía se convierte en energía mecánica y finalmente en energía eléctrica mediante un generador eléctrico. Estas conversiones de energía se basan en los dos principios fundamentales de la termodinámica: a) primera ley de la termodinámica (PLT) y b) segunda ley de la termodinámica (SLT). La PLT enuncia el principio de conservación de la energía y la SLT limita la conversión de la

energía entre las diferentes formas de la misma [Morán y Shapiro, 2006].

La conversión de la energía química contenida en los combustibles a energía térmica, después a energía mecánica y posteriormente a energía eléctrica, requiere el uso de máquinas térmicas. En estas máquinas se convierte la energía térmica obtenida de la combustión a energía mecánica, que es la energía que se usa para mover un generador eléctrico y así obtener energía eléctrica. La conversión de la energía térmica a energía mecánica está limitada por la SLT, que se enuncia de acuerdo a Kelvin-Planck [Bejan A., 1997].

En particular se han desarrollado motores de combustión interna que trabajan con biogás. La operación de los motores de combustión interna, requieren de una concentración mínima de 45% de metano en el biogás. Para el aprovechamiento de la energía del biogás se sugiere utilizar cogeneración dentro de la Planta de Biogás.

Los sistemas de cogeneración (SC), se utilizan para el aprovechamiento de la energía. Estos sistemas tienen la particularidad de transformar la energía térmica en energía mecánica y posteriormente en energía eléctrica y aprovechar parte de la energía térmica no convertida en energía mecánica. El rendimiento de este proceso se sitúa entre el 25 y 40%. Esta energía térmica está contenida en el fluido de enfriamiento del motor y en los gases de combustión que se transmite a un fluido para realizar un proceso de calentamiento o para

obtener refrigeración a partir de un sistema de refrigeración por absorción.

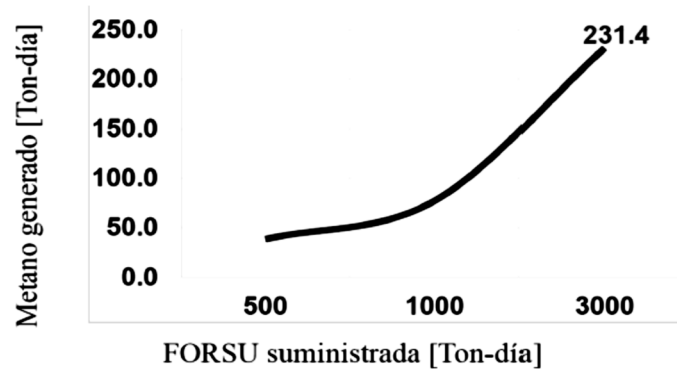


Figura 1. Estimación de la cantidad de metano generado con respecto a la FORSU tratada

El rendimiento global de los sistemas de cogeneración, que está compuesto del rendimiento eléctrico y del rendimiento térmico se sitúa entre el 80 y el 90%, repartiéndose aproximadamente en partes iguales. Partiendo de los datos del rendimiento de un sistema de cogeneración se determinó la cantidad de energía eléctrica y de calor que se obtendría de la FORSU.

RESULTADOS

Generación de metano

Los resultados de la estimación del metano, fueron utilizados para determinar la cantidad de energía eléctrica y de calor de los volúmenes mencionados (500, 1000 y 3000 ton-día) de la FORSU.

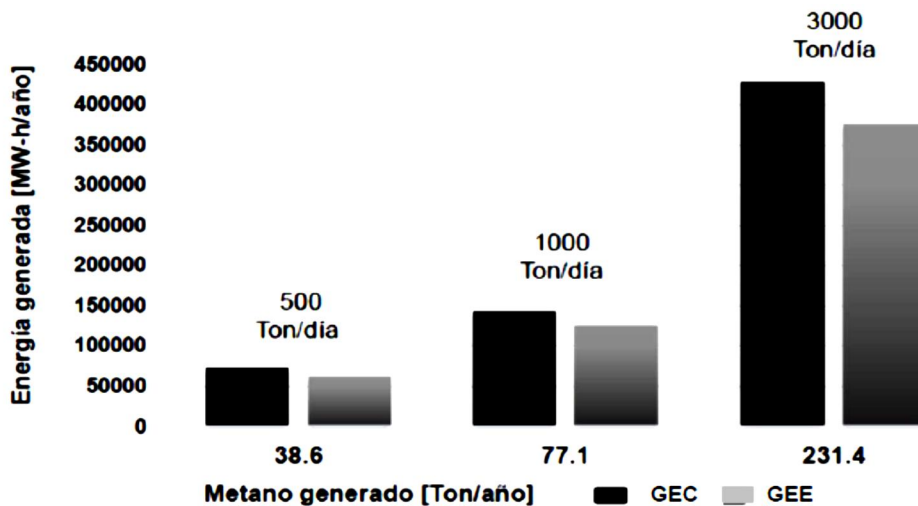


Figura 2. Estimación de la energía eléctrica y de calor a partir del metano generado dependiendo de la cantidad de FORSU. Se puede ver que el aprovechamiento de la energía de energía de calor (GEC), es mayor a la energía eléctrica (GEE) generadas

Potencial de Generación de Energía de Biogás en la Ciudad de México

La figura 1 muestra los resultados de la estimación de metano en un rango de concentración de SV de 10 a 20%. La determinación de los valores de la gráfica mostrada, son valores de una media de cada valor de la composición y la concentración para cada volumen de FORSU.

Estimación del potencial de energía

ton/día de FORSU. Se consideró también que el consumo medio de energía eléctrica de viviendas de clase media es de 5 kW-h/día, lo que equivale a un consumo de 1825 kW-h/año. Una vez realizados los cálculos se muestra que se podría alimentar hasta 300,000 viviendas en la Ciudad de México con la energía generada de la planta de biogás.

En la Tabla 3 se muestran los resultados del

Ton/día	10% SV			15% SV			20% SV		
	500	1,000	3,000	500	1,000	3,000	500	1,000	3,000
CH4%	Número de viviendas								
50	13552	27104	81312	20328	40656	121968	27104	54208	162624
55	15635	31271	93813	23453	46908	140719	31271	62542	187626
60	17933	35866	107598	26899	53799	161397	35866	71732	215196
65	20479	40958	122875	30718	61437	184313	40958	81917	245751
70	23317	46634	139902	34975	69951	209853	46634	93268	279805
75	26499	52999	158997	39749	79498	238495	52999	105998	317994

Tabla2.- Número de viviendas que serían beneficiadas con suministro de electricidad a partir del biogás

La energía disponible de calor o eléctrica se determinó considerando una eficiencia de generación de 35% para la energía eléctrica y del 40% para la energía de calor. La Figura 2 muestra la comparación de la generación de energía para los diferentes volúmenes de FORSU y dependiendo de la cantidad de metano generado. Se observa que del mayor valor estimado de metano generado se tendría una producción aproximada de más de 420,000 MW-h al año de energía de calor y más de 370,000 MW-h al año de energía eléctrica. Los valores de generación de energía eléctrica están representados por GEE y la Generación de energía de calor se representa por GEC.

La representación de cada serie de datos calculados es una media para cada valor de concentración de metano en la mezcla y para cada valor de concentración de sólidos volátiles (SV), valor que define la conversión de la FORSU a biogás.

La cantidad de energía eléctrica generada es utilizada para estimar el número de viviendas que se beneficiarían utilizando el biogás generado en una planta que procese hasta 3,000

número de viviendas para cada escenario, cantidades que pueden ser utilizadas dependiendo de la cantidad generada y concentración de metano.

Cabe mencionar que el rango de valores de concentración de metano en la mezcla y el rango de concentración de SV en la cantidad de la FORSU, fueron considerados de anteriores investigaciones en las cuales, el rango de concentración de metano en la mezcla de acuerdo a diferentes residuos orgánicos, se encuentra en 50 y 75% y para la FORSU la concentración de SV es de 10 al 20%, [Angelidaki y Ahring, 1997].

CONCLUSIONES

El potencial de generación de biogás es alto y depende de la cantidad de RO generados. Aquí se muestra una estimación del potencial de energía que podría ser desarrollada si se trata la mayor parte de la FORSU que llega a la PCBP en la actualidad. Dicho potencial es mayor a 700,000 MW-h/año en la Ciudad de México.

El beneficio de instalar una “planta de biogás” entre muchos otros es la reducción de emisiones a la atmósfera, como ejemplo, al utilizar el metano proveniente de la DA de 3,000 ton/día de la FORSU para generación de electricidad o calor, equivaldría a que se dejasen de emitir a la atmósfera 1,084,050 ton CO₂e que si se considera la emisión de automóviles, equivale a sacar de la circulación durante un año a cerca de 219,443 vehículos de pasajeros en la Ciudad de México.

Otros beneficios de generar energía usando biogás de la FORSU son: clausura de rellenos sanitarios y tiraderos al aire libre; la generación de energía alterna y en consecuencia, la reducción en la demanda de recursos naturales escasos (combustibles fósiles); reducción de la degradación ambiental como consecuencia de la disposición de residuos sin control; y una mejor calidad del aire. También hay que tener en cuenta que nuevas inversiones, instalaciones y proyectos crean más y mejores oportunidades de trabajo; transferencia de tecnología, acceso a la financiación para la lucha contra el cambio climático y mejora de la competitividad por aumento de la eficiencia.

Sumado a lo anterior que la energía generada tendría un costo más bajo de producción y la energía requerida por la planta puede ser provista del mismo biogás generado en un 10% como máximo.

Con base en las experiencias ganadas, se puede sólo esperar que las plantas lleguen a ser más confiables, ya que los errores se corrigen y tecnologías de menor rendimiento han sido eliminadas. Sin embargo, los problemas no deben ser subestimados en la construcción y diseño de nuevas plantas, no sólo para perspectivas técnicas, sino también para una perspectiva biológica. Un minucioso conocimiento de la composición de los desechos es útil con el fin de evaluar con precisión la tecnología más apropiada, así como las ramificaciones económicas.

El gobierno junto con las instancias correspondientes, tiene que continuar incentivando la vinculación entre instituciones gubernamentales y centros de investigación o

instituciones educativas de nivel superior para la formación de capital humano especializado e incrementar la capacidad científica, tecnológica y de innovación en el campo de la tecnología de DA.

BIBLIOGRAFÍA

Angelidaki, I., Ahring, B. (1997). Anaerobic digestion in Denmark. Past, present and future. In: III Curs d'Enginyeria Ambiental. Lleida, 336-342.

Bejan A., 1997. Advanced Engineering Thermodynamics, Jhon Wiley, N.Y.

Bernhard Raninger, Li Rundong, 2007. Biogas market potential. A Sino-German Project makes good use of bioorganic municipal waste. Biomass Energy Technologies. 56-74.

Campos E., Bonmatí A., Teira M. R., Flotats X., 2001. Aprovechamiento Energético de los Lodos Residuales y Purines. Producción de Biogás. Jornades tècniques sobre energia. Barcelona.

David T. Allen, 2014. Review. Methane emissions from natural gas production and use: reconciling bottom-up and top-down measurements. Chemical Engineering. 5:78-83.

DRANCO. Organic Waste Solid Systems. http://www.ows.be/es/household_waste/dranco-3/ [accessed 12.02.2014]

Emilio Cerdá, 2009. Energía obtenida a partir de biomasa. Universidad Complutense de Madrid. proyecto del FEDER y Ministerio de Ciencia e Innovación ECO-14586-C2-01, cuadernos económicos de ICE No. 83.

González Velasco Jaime, 2009. Energías Renovables. Barcelona. Editorial Reverté, XII. 656 p.

Gutiérrez Castro L. M., 2011. Diseño de un Sistema Solar para Suministrar Energía a un Digestor. Tesis de Maestría, 28 de Julio de 2011.

Gutiérrez Castro L. M., Quinto Diez P. & Tovar Gálvez L. R. Design of Solar Heating System for Methane Generation. Proceedings of the 25th International Conference on Efficiency, Cost,

Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, June 26-29, 2012, Perugia, Italy. Firenze University Press.

Ji-ning Chen, et al., 2007. Environmental Issues and Countermeasures Facing New Rural Development in China. 5th Annual General Meeting of CCICED, 51 p.

Karagiannidis A. et al. 2012. Anaerobic Digestion and Biogas Utilization in Greece: Current Status and Perspectives, in Anaerobic Digestion, Ed. Ackmez Mudhod, Wiley. 2012.

Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal. (2008). Gaceta Oficial del Distrito Federal (7 de octubre de 2008).

M^a José Cuesta, et al., 2010. Situación actual de la producción de biogás y de su aprovechamiento. Informe de Vigilancia Tecnológica Madrid. CEIM Confederación Empresarial de Madrid – CEOE. Editada por Fundación madrid para el Conocimiento, 111 p.

Mario Rios & Martin Kaltschmitt, 2013. Bioenergy potential in Mexico—status and perspectives on a high spatial distribution. Biomass Conv. Bioref. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Moran M.J., Shapiro H.W. 2006. Fundamentals of Engineering Thermodynamics, 3a. edition, Jhon Wiley, N.Y.

Norma Oficial Mexicana. Especificaciones del Gas natural, NOM-001-SECRE-2010.

Novarino D., Zanetti M. C., 2008. Anaerobic Digestion of the MSW Organic Fraction. Second International Symposium on Energy from Biomass and Waste. Venice, Italy. CISA, Environmental Sanitary and Engineering Center, Italy.

Orta, M.T., Saucedo G. y Tovar, L.R. (2014). Composición y generación de residuos sólidos urbanos de la Ciudad de México durante 2008-2009. Incluye los generados en la Central de Abasto del D.F. Universidad Autónoma

Metropolitana-Iztapalapa 2a Edición, México D.F.

Sistema de Transporte Colectivo (STC). Resultados del Sistema de Transporte Colectivo (STC), Septiembre 2011.

SOS (Secretaría de Obras y Servicios). (2011). Indicadores de residuos sólidos urbanos elaborado por la Dirección General de Servicios Urbanos.

Surendra K.C, Devin Takara, Andrew G. Hashimoto, Samir Kumar Khanal, 2014. Biogas as a sustainable energy source for developing countries: Opportunities and challenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews 31, 846–859.

Surroop D. y Begué O.D, 2012; Investigating the Potential of Using Biogas in Cooking Stove in Rodrigues, en Anaerobic Digestion, Ed. Ackmez Mudhod. Wiley.

Tovar Gálvez L. R., Gutiérrez Castillo M. E., Núñez Cardona M. T., Espitia A., 2012. Viabilidad de la capacidad del área actual de la planta de composta, así como, su capacidad de operación y la viabilidad de la inclusión del área de la planta de selección a la planta de composta. Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios Sobre Medio Ambiente y Desarrollo del IPN, México D.F.

Tovar Gálvez L. R., Gutiérrez Castillo M. E., Núñez Cardona M. T., Rodríguez Tapia C., Quinto Diez P., Diego Santos V., Cortez Núñez J., 2014. Estudio de impacto ambiental de la planta de composta Bordo Poniente así como los análisis físico-químicos para el control de calidad de la composta ahí producida. Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios Sobre Medio Ambiente y Desarrollo del IPN, México, D.F.

Yunus A. C. and Afshin J. G., Heat and mass transfer, 4th Edition. McGraw Hill, 2007, p 970.