

Cálculo de la generación de biogás por el método de digestión anaerobia a partir de biomasa extraída de la central de abasto de Ecatepec, Estado de México

Calculation of biogas generation by the anaerobic digestion method from biomass extracted from the Ecatepec's central de abasto, Mexico

María Concepción Martínez-Rodríguez¹, Lorena Elizabeth Campos-Villegas², Brandon Piña-Garrido³

Fecha de recepción: 26 de setiembre, 2022

Fecha de aprobación: 11 de enero, 2023

Martínez-Rodríguez, M.C; Campos-Villegas, L.E; Piña-Garrido, B. Cálculo de la generación de biogás por el método de digestión anaerobia a partir de biomasa extraída de la central de abasto de Ecatepec, Estado de México. *Tecnología en Marcha*. Vol. 36, N° 4. Octubre-Diciembre, 2023. Pág. 68-75.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v36i4.6106>

1 Instituto Politécnico Nacional. México. Correo electrónico: mcmartinezr@ipn.mx

 <https://orcid.org/0000-0003-3094-5411>

2 Instituto Politécnico Nacional. México. Correo electrónico: lecamposv@ipn.mx

 <https://orcid.org/0000-0001-7248-9296>

3 Instituto Politécnico Nacional. México. Correo electrónico:

bpinag@alumno.ipn.mx

 <https://orcid.org/0000-0002-3264-3604>

Palabras clave

Biomasa; digestión anaerobia; biogás; potencial energético; residuos sólidos orgánicos.

Resumen

La Central de Abasto de Ecatepec es el centro de comercio más grande que se encuentra en el municipio y alberga aproximadamente 700 negocios se trabajó con una población de 84 cuyos productos en venta principales son frutas, verduras, carnes, abarrotes, dulces, flores, entre otras cosas, generando alrededor de 18 toneladas de residuos diarios, siendo el 44% del tipo orgánico. Estos residuos son depositados en contenedores y después transportados a tiraderos de basura, perdiéndose así todo tipo de aprovechamiento energético. Con la finalidad de aprovechar y visibilizar la capacidad energética de esos residuos, así como fomentar el uso y aprovechamiento de las energías verdes, se ha realizado la presente investigación la cual tiene el objetivo de calcular la valoración de energía que se puede obtener mediante la generación de metano a partir de los residuos sólidos orgánicos acumulados en un biorreactor de tanque discontinuo a través del método de digestión anaerobia en la zona de la Central de Abasto de Ecatepec de Morelos. Bajo las condiciones adecuadas y el uso del biorreactor indicado, la biomasa generada en la zona de estudio puede llegar a producir hasta 517.67 kWh, un valor que, aunque no alcance a cubrir la demanda actual de energía en la zona, representaría un 22% en el aprovechamiento de las energías limpias en la central de abastos de Ecatepec, Estado de México.

Keywords

Biomass; anaerobic digestion; biogas; energy potential; organic solidwaste.

Abstract

The Central de Abasto Ecatepec is the largest trade center in the municipality and houses approximately 700 businesses, it worked with a population of 84 whose main products for sale are fruits, vegetables, meats, groceries, sweets, flowers, among other things, generating around 18 tons of daily waste, 44% of which is organic. This waste is deposited in containers and then transported to garbage dumps, thus losing all kinds of energy use. In order to take advantage of and make visible the energy capacity of these residues, as well as to promote the use and exploitation of green energies, the present investigation has been carried out, which has the objective of calculating the valuation of energy that can be obtained through the generation of methane from organic solid waste accumulated in a batch tank bioreactor through the anaerobic digestion method in the area of the Central de Abasto de Ecatepec de Morelos. Under the right conditions and the use of the indicated bioreactor, the biomass generated in the study area can produce up to 517.67 kWh, a value that, although it does not cover the current energy demand in the area, would represent 22% in the use of clean energy at the Ecatepec supply center, State of Mexico.

Introducción

La biomasa es toda materia orgánica capaz de fungir como fuente energética al ser sometida a distintos procesos que pueden ser bioquímicos o termoquímicos. Existen distintos tipos de biomasa, entre éstos están la biomasa agrícola, procedente de materia animal o vegetal residual de la actividad agrícola; forestal, procedente de masas arbóreas; acuática, cuando proviene de plantas y algas acuáticas; y de residuos urbanos, provenientes de núcleos urbanos [1]. Se ha considerado a la biomasa como un recurso renovable porque es parte de un flujo natural y repetitivo de la naturaleza [2].

Sea de origen vegetal o animal, la biomasa está compuesta principalmente por los elementos carbono, oxígeno e hidrógeno formando compuestos que almacenan grandes cantidades de energía, sin embargo, el contenido es menor al que poseen los combustibles fósiles debido a que hay una mayor relación entre las cadenas oxígeno-hidrógeno con respecto al carbono y justamente las cadenas carbono-carbono son quienes almacenan la mayor cantidad de energía [2].

Ésta puede ser aprovechada para transformarse principalmente en energía eléctrica mediante la generación de biogás, este último es un proceso natural producto de la degradación de la materia orgánica confinada en un espacio bajo condiciones específicas [3].

El método más tradicional de aprovechamiento energético es la combustión, cuyas emisiones a la atmósfera son equilibradas y, a diferencia de las energías fósiles, genera compuestos que no alteran la composición de la atmósfera y la mantiene a niveles constantes [4]. Sin embargo, existen otros métodos ampliamente utilizados (tabla 1) como lo es la digestión anaerobia donde se aprovechan incluso los residuos generados a partir de su producción [5].

En Ecatepec el centro de comercio más grande en el municipio, es la Central de Abastos se encuentra seccionada en siete naves de aproximadamente 100 locales, es decir, cuenta aproximadamente con 700 negocios. Los principales productos comercializados son frutas, verduras, carnes, abarrotes, dulces, flores, entre otras cosas. Dentro de la zona se generan alrededor de 18 toneladas de residuos diarios que son depositados en contenedores y después transportados a tiraderos de basura, de estos residuos aproximadamente el 44% es de origen orgánico y pueden ser utilizados para su tratamiento en el reactor.

La valorización y cuantificación energética de la biomasa se estima por la cantidad de energía que contiene o puede llegar a liberar cuando es sometida a los diferentes procesos de conversión energética [6]. Dependiendo del tipo de proceso empleado se obtienen diferentes productos primarios, que posteriormente se pueden transformar en otros productos con mayor valor comercial, como combustibles comunes (gasolina y diésel-oil), combustibles oxigenados (metanol) y otros productos como hidrógeno y amoníaco [5] (cuadro 1).

Cuadro 1. Productos finales de mayor valor comercial obtenidos a partir de los diferentes métodos de procesamiento de biomasa a los que se someten diferentes productos primarios.

Proceso de conversión	Producto primario	Procesamiento posterior	Producto final
Combustión	Energía calorífica	Calderas	Energía eléctrica
Licuefacción o Pirolisis	producto líquida	Turbinas	Energía eléctrica
		Hidrotratamiento	Gasolina y Diésel
		Mezclado	Slurries
Pirolisis	Producto sólido (CHAR)	Mezclado	Slurries
Gasificación o Pirolisis	Gas PCB	Motores	Energía eléctrica
		Síntesis	Metanol, Alcohol combustible y amoníaco
	Gas PCM	Turbinas	Energía eléctrica
		Motores	Energía eléctrica
		Síntesis	Metanol, Alcohol combustible
Fermentación	-	Hidrolisis y fermentación	Etanol
Digestión anaerobia	-	Fermentación	Biogás y lodo fertilizante orgánico

Fuente: [5].

Al momento de seleccionar el tipo de proceso o tecnología que se empleará para la transformación a energía, conocer la composición de los residuos es sumamente importante [7].

La digestión anaerobia es un proceso de carácter bioquímico utilizado para la producción de biogás a partir de la degradación de las partículas orgánicas biodegradables contenidas en los residuos sólidos orgánicos mediante la fermentación en ausencia de aire en la biomasa. Este biogás tiene la característica de tener un alto contenido en metano, gas de alto aprovechamiento energético. Adicional al proceso de degradación se genera dióxido de carbono, un residuo estabilizado o lodo fertilizante orgánico que tiene una alta tasa de destrucción de microorganismos patógenos y que puede ser utilizado como mejorador del suelo [8] y otros compuestos obteniendo así un balance energético positivo y una producción con un rango de potencia eléctrica de aproximadamente de 0,3-10 MW [1]. La reacción se representa mediante la siguiente ecuación [9]:



Materiales y métodos

La presente investigación es fundamentalmente de carácter cuantitativa, siendo su principal objetivo el calcular la valoración energética que podría derivarse del aprovechamiento de la biomasa procedente de los desperdicios de la Central de Abasto de Ecatepec de Morelos, Edo. De México.

Para el cálculo de este parámetro fue indispensable considerar un modelo matemático que se ajuste a las condiciones ambientales y al tipo de residuos específicos generados en el lugar de estudio.

$$Q_{\text{biogas}} = Mr \times EF \quad (1)$$

Q_{biogas} = Flujo esperado de gas

Mr = Material residual (kg/día)

EF = Factor de Emisión de CH₄ /kg de residuo tratado (0.15 m³/kg)

Este método fue desarrollado por el departamento de Ingeniería Química en la Universidad de Santander [10], se decidió utilizar por la semejanza que guardan las condiciones y los parámetros de ambos estudios. Como son el tipo y composición de los residuos orgánicos teniendo entre el 44 y 50% de componentes vegetal entre (fruta, flores y verdura), además de su procedencia ambos de centrales de abasto.

Los valores de las cantidades de residuos generados por cada local, de verdura 50 kg por día, los de frutas 30 kg y los de carne 20 a 25 kg fueron obtenidos directamente con los locatarios en la central de Ecatepec mediante una encuesta simple. El número de población (n) se calculó considerando la cantidad finita de negocios; igual a 700.

$$n = \frac{Z^2 p q N}{d^2(N - 1) + Z^2 p q} \quad (2)$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra

N = Población total (700)

Z = Distribución estándar para 95% de confianza (1.96)

p = Probabilidad de éxito (0.5)

q = Probabilidad de error (0.5)

$$n = \frac{1.96^2 \times 0.5 \times 0.5 \times 700}{0.1^2(700 - 1) + 1.96^2 \times 0.5 \times 0.5} \quad (3)$$

$$n = 84.56 \cong 85 \quad (4)$$

Por lo que la encuesta se aplicó a una muestra (n) representativa de 85 locatarios escogidos al azar de diferentes giros.

Por otro lado, para la selección del tipo de reactor se deben considerar otros parámetros como el tiempo de retención hidráulico, las fases de carga y descarga diaria y el tipo de materia prima [11], por lo que para esta investigación utilizará como referencia un reactor tanque semicontinuo alimentado con residuos sólidos orgánico en una concentración de sólidos totales del 20% y a una temperatura promedio de 55°C para asegurar la mayor producción de biogás y eliminación de patógenos. Se considerará un tiempo de concentración hidráulico de 15 días, tiempo en el que la degradación anaerobia es total [12], para esperar obtener de este modo biogás con una concentración de entre un 50 y 70% de metano.

La gran ventaja de considerar un reactor semicontinuo es que todos los procesos necesarios para la obtención del biogás se realizan dentro de un mismo reactor, obteniendo así un alto rendimiento de producción, bajo coste, obtención de un fertilizante y una eficacia en cuanto al arranque y estabilización del digestor [13].

Resultados

En la Central de Abasto de Ecatepec se estimó se generan alrededor de 18 toneladas diarias de residuos de diferentes tipos, según los datos de la encuesta el 44% de ellos son de origen orgánico. A continuación, se presenta el cálculo del biogás que se produciría por la descomposición de los residuos dispuestos en un reactor tanque semicontinuo bajo condiciones ideales de trabajo.

Dada la producción de residuos diarias y considerando el porcentaje de materia orgánica que la compone, se tiene que:

$$\text{masa orgánica} = 18,000 \text{ kg} \times 0.44 = 7,920 \text{ kg diarios} \quad (5)$$

Considerando una disolución en agua del residuo y una alimentación del 20% [9], se obtiene lo siguiente:

$$Q_{\text{alimentacion}} = 7,920 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times \frac{100}{20} = 39,600 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \quad (6)$$

El cálculo diario de los sólidos totales obtenidos dentro del reactor, tomando en cuenta un valor de S.T.= 819 g/kg para el reactor los determinamos de la manera siguiente:

$$S.T. = 819 \frac{\text{g}}{\text{kg}} \times 39,600 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times \frac{\text{kg}}{1000 \text{ g}} = 32,432.4 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \quad (7)$$

Se deben de considerar que de los sólidos una fracción se pierden por evaporación durante la digestión anaerobia [6], por lo que, para este estudio, tipo de reactor y dada la composición inicial se considera un valor de sólidos volátiles del 52.93%, reduciéndose la masa al valor siguiente:

$$S.V. = 32,432.4 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times 0.5293 = 17,166.47 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \quad (8)$$

El siguiente paso fue calcular el porcentaje de reducción de los sólidos volátiles equivalente al 79.4% según lo reportado en pruebas experimentales del estudio original realizado en las Universidades Santander [10] y de América [15], en el digestor anaerobio.

$$\%Reduccion = 17,166.47 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times 0.794 = 13,630.17 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \quad (9)$$

Posteriormente se procede a calcular el volumen de metano generado por día en el proceso de conversión anaerobia. Sabiendo que el rendimiento de metano por cada kilogramo de materia orgánica genera aproximadamente 0.15 m³ de este gas [15], se tiene lo siguiente:

$$Q_{biogas} = 13,630.17 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times 0.15 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 2,044.52 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \quad (10)$$

Como se sabe, el metano total que se genera dentro del reactor no es 100% recuperado [9], sin embargo, estos reactores tienen una eficiencia de recuperación alta de aproximadamente 60% [14], de esta forma el volumen de metano disponible para su utilización se calcula de la manera siguiente:

$$Eficiencia = 2,044.52 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times 0.60 = 1,226.71 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \text{ de } CH_4 \quad (11)$$

Finalmente, para calcular el poder calorífico y potencia de dicho volumen de metano a presión atmosférica 1atms y a 25 °C se realiza con lo siguiente:

$$Poder\ calorífico = 1,226.71 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \text{ de } CH_4 \times 8,708.4 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^3} = 10,682,732.72 \frac{\text{Kcal}}{\text{día}} \quad (12)$$

$$Potencia\ eléctrica = 517.67 \frac{\text{kW}}{\text{h}}$$

Análisis de resultados

La generación de residuos orgánico en centros de abasto tanto en nuestro país como en Colombia mantienen ciertas semejanzas entre las condiciones y los parámetros de ambos sitios se tiene particularmente que para Bogotá en CORABASTOS se generan 8,680 tons año de residuos orgánicos [15] la mayor parte de los residuos vegetales son; espinaca, remolacha, tomate, apio, calabaza y los de frutas uva sandía piña, melón, mango [15]. En la presente valoración se ve una condición similar para la central de abastos de Ecatepec que se calculó genera 18 tons al día (equivale a 6 570 por año) de estos el 44% (2,890.1 tons anuales) son residuos orgánicos de verdura, como tomate, coliflor, pepino calabaza, lechuga; los de fruta (naranja, plátano, mango, piña, sandía) y los de carne (viseras, hueso y también residuos de comida preparada) En otro estudio [14] calcularon para la central de Ecatepec 3,6 tons al año de residuos orgánicos, siendo ambos cálculos sumamente próximos. En los tres casos se pone de manifiesto una generación equivalente en la masa de la fase orgánica, y una composición similar entre Colombia y Ecatepec tal vez determinada por las practicas agroforestales de las regiones a las que pertenecen y por los patrones de consumo, que les hacen compartir fuertes vínculos alimenticios.

Cuadro 2. Comparación de las características físicas consideradas en la valoración energética de la biomasa procedente de los desperdicios en centros de abasto, España [16] y el caso de estudio Ecatepec (México).

Parámetros	España	Ecatepec
Humedad (%)	72	28.98
ST (%)	28	81.9
SV (%)	24	52.93
Biometano generado (día)	397 (dm ³ /kgSV)	122.6 (dm ³ /kg biomasa)

De donde se observa que la fase orgánica del presente estudio guarda un escaso nivel de agua, muchos más sólido, con un menor rendimiento metanogenico probablemente asociado a materiales con una mayor proporción de lignina.

En cuanto a las necesidades de energía eléctrica en la central de abastos de Ecatepec por las 7 naves y la iluminación exterior se estima un total de carga demandada de 9,910.28 kWh en un día aproximadamente, esta demanda es igual al consumo de los locatarios que pagan individualmente la energía [14], pero cabe señalar que una parte de los comerciantes no tiene un medidor y se encuentran colgados al alumbrado público. La valoración energética de los residuos orgánicos en el presente análisis para la central de abastos de Ecatepec estimo que se cubriría al menos el 53.8% de la demanda por día calculada exclusivamente para la nave de frutas y verduras, que de acuerdo con Cuevas Galvan y Tellez Reyes [14] tiene una carga de demanda total de 962.2 kWh diaria. Si bien no equivale al 100% dichos cálculos son importantes para demostrar que existe un mejor destino para los residuos orgánicos que el deposito en un relleno sanitario donde solo contribuirían a incrementar la carga de gases de efecto invernadero.

En el Mercado Mayorista de Frutas N°2 del distrito de La Victoria, para evidenciar el potencial energético de los residuos generados a partir del comercio de fruta al mayoreo, se realizó una encuesta con 87 puestos, resultado de ello se caracterizó al comerciante y se recabo información acerca de la cantidad de energía que consumen 2,337.94 kWh y la cantidad de residuos orgánicos promedio que desechan al día, siendo de 6,111 kg, para lo cual se calculó el potencial energético diario y el resultado fue de 257.10 kWh [17]. Para el caso de estudio el valor de (n) la muestra fue 84 locales, resultando de la encuesta que generan aproximadamente 7,920 kg diarios de residuos orgánicos con una valoración energética calculada que arrojo un potencial eléctrico de 517.67 kWh el doble de lo referido para la Victoria (Perú) diferencia que de manera particular posiblemente sea explicada por la composición y carga total de la fase orgánica generada en cada región.

Conclusiones

La potencia eléctrica disponible de las 18 toneladas de residuos generados diarios asumiendo que se parte de los 84 locatarios participantes de la Central de abasto de Ecatepec y los residuos que se estimó generan la valoración energética obtenida de 517.67 kWh, si bien no sería suficiente para satisfacer completamente el total de la demanda energética de la central 2,337.94 kWh, la utilización de biorreactores mediante el aprovechamiento de la biomasa representaría el 22% un gran paso en la implementación de sistemas verdes autosuficientes y la explotación de las energías verdes, además de la concientización e impacto socioeconómico.

Existen diversas alternativas que se pueden emplear para lograr cubrir la demanda energética de la zona de estudio como abastecer de residuos el reactor también con materia proveniente de colonias aledañas. Cabe destacar que aunado a la producción del biogás se generarían

subproductos de gran importancia como el abono que puede ser distribuido fácilmente en puntos de importancia agrícola como los establecidos en Acolman, municipio colindante a Ecatepec de Morelos.

Referencias

- [1] S. Nogues, D. García, A. Rezeau "Energía de la biomasa", 2010, Vol. II, C. d.-S. renovables, Ed. Zaragoza, España: Presas Universitarias de Zaragoza.
- [2] H. Escalante, J. Ordaz, J. Zapata, H. J. Cardona, M. C. Duarte, "Atlas de potencial energetico de la biomasa residual en Colombia, Bogota", 2011, <https://www1.upme.gov.co/siame/Paginas/atlas-del-potencial-energetico-de-la-biomasa.aspx>
- [3] L. Rodríguez "Aprovechamiento de residuos orgánicos para la producción de energía renovable en una ciudad colombiana", 2015, *Energética*, 0(46), 23–28.
- [4] C. C. Serrato, V. Lesmes "Metodología para el cálculo de energía extraída a partir de la biomasa en el Departamento de Cundinamarca", 2016 [Trabajo de Fin de Grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <https://repository.udistrital.edu.co/>
- [5] P. A. Della Rocca, "Estudio de procesos de conversión térmica de biomasa", 1998, *Facultad de Ciencias Exactas y Naturales*. Universidad de Buenos Aires, http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_3033_DellaRocca.pdf
- [6] F. Monnet "An introduction to Anaerobic Digestion of organic wastes", 2003, Final Report, Escocia.
- [7] M. Muñoz "Modelo de gestion limpia para solidos municipales", 2004, Quito, Ecuador.
- [8] L. De Baere. "Anaerobic Digestion of Solid Waste: State of the art", 2000. *Science Technology*(41), 283-290.
- [9] H. Asis, F. Dopazo, P. Gianoglio "Producción de energía a partir de biogás obtenido de residuos sólidos urbanos", 2006, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco.
- [10] Escalante Hernández, H., et al (2012). Atlas Del Potencial Energético De La Biomasa Residual En Colombia. [Electronic (1)]: Unidad de Planeación Minero Energética, UPME; Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Ideam; Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, Colciencias; Universidad Industrial de Santander, UIS ed. Colombia: 141 p Disponible en Internet <http://bdigital.upme.gov.co/handle/001/1058>>Biomasa/Anexo_B_Muestreo_caracterizacion_biomasa_residual.pdf
- [11] Y. González, T. Gato, L. Pires "Determinación del Potencial energético de los Residuos Sólidos Urbanos en tres municipios de la provincia de Luanda", 2015, *Tecnología Química*, Angola. 35(1), 63–72.
- [12] A. Wilkie "Anaerobic digestion: biology and benefist", 2013, Dairy Manure Management Conference. Florida, EEUU. 12 p.
- [13] Universidad Mayor de San Andres "Aprovechamiento de los residuos del proceso anaerobico", 2009, Proyecto CNI-IIIDEPROQ, La Paz, Bolivia, 100 p.
- [14] Cuevas Galvan J, TéllezReyes P. (2016) "Factibilidad de un sistema de obtención de biogás para la generación de energía eléctrica en la Central de Abastos de Ecatepec", Tesis Lic, ESIME, Instituto Politécnico Nacional.
- [15] García Rodríguez A. M. y Gómez Franco J. D., (2016). Evaluación de la producción de biogás a partir de residuos vegetales obtenidos en la Central de Abastos de Bogotá mediante digestión anaerobia. Universidad de América. Fac. de Ingría. Tesis de Lic. Programa de Ingeniería Química. Bogotá. Disponible en internet <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/667/1/6112733-2016-2-IQ.pdf>
- [16] Sánchez Nocente E. (2021) Análisis del potencial de obtención de biometano en España y Evaluación del impacto ambiental asociado a su proceso de producción. Tesis de Maestría. Univ Politécnica. Ingría Industrial. Disponible en internet https://oa.upm.es/66146/1/TFM_EDUARDO_SANCHEZ_NOCETE.pdf
- [17] Anchayhua Chate B.C.A y Toribio Soca F.J. (2020) Potencial energético de los residuos orgánicos generados en el mercado mayorista de fruta N°2 en el distrito de La Victoria. Univ. San Ignacio de Loyola. Tesis de Lic Lima. Perú disponible en internet: <https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/8caa58f1-3c1a-434d-96cf-245ea0814e52/content>