

Diseño de un sistema de Bio-digestión de desechos orgánicos

Bio-digestion system design for organic wastes

Ferrer Gutiérrez Juan Pedro

Universidad Técnica de Machala

jferrer@utmachala.edu.ec

Machala-Ecuador

Batallas Valarezo Marlon Patricio

Universidad Técnica de Machala

mbatallas3@utmachala.edu.ec

Machala-Ecuador

Vera Infante Thalía Gabriela

Universidad Técnica de Machala

tgverai_est@utmachala.edu.ec

Machala-Ecuador

Álvarez Arévalo Stalin René

Universidad Técnica de Machala

salvarez2@utmachala.edu.ec

Machala-Ecuador

Resumen

El objetivo de esta investigación es diseñar un sistema de biodigestión para la producción de biol y biogás mediante el tratamiento de residuos orgánicos procedentes del cantón Santa Rosa. A través de una matriz de selección de tecnología se determinó que el biodigestor de domo fijo es el más factible y de mejor operación. Además, se elaboró el diagrama de flujo de proceso con los respectivos balances de masa, obteniéndose los siguientes parámetros de diseño: $VG= 1386 \text{ m}^3/\text{día}$; $B= 67,79 \text{ ton}/\text{día}$; $VCH_4 = 639 \sim 1108,8 \text{ m}^3/\text{día}$; $MV=3811,5 \text{ kg}/\text{día}$; $COV=2,5 \text{ kg MV}/\text{m}^3$; $V=1829,52 \text{ m}^3$; $Cdb= 69,3 \text{ ton}$; $THR=26,4 \text{ días}$.

Palabras claves: residuos orgánicos, biodigestor, biol, biogás.

Abstract

The objective of this research is to design a biodigestion system for the production of biol and biogas through the treatment of organic wastes from the Santa Rosa canton. Through a technology selection matrix, it was determined that the fixed dome biodigester is the most feasible and best operating. In addition, the process flow diagram was elaborated with the respective mass balances, obtaining the following design parameters: $V_G = 1386 \text{ m}^3 / \text{day}$; $B = 67, 79 \text{ ton} / \text{day}$; $V_{\text{CH}_4} = 639 \sim 1108, 8 \text{ m}^3 / \text{day}$; $MV = 3811, 5 \text{ kg} / \text{day}$; $\text{VOC} = 2, 5 \text{ kg MV} / \text{m}^3$; $V = 1829, 52 \text{ m}^3$; $C_{db} = 69, 3 \text{ ton}$, and $\text{THR} = 26, 4 \text{ days}$.

Keywords: organic wastes, biodigester, biol, biogas.

Introducción

Los residuos sólidos son uno de los grandes problemas en la actualidad, el excesivo incremento poblacional ha producido una incontrolable generación de “basura”, contribuyendo a la contaminación del agua, aire, tierra e impacto a la salud humana. El manejo integral de estos residuos es de gran preocupación y prioridad para empresas municipales de aseo, por lo que en el transcurso de los años se ha venido mejorando la gestión y disposición final mediante la implementación de estrategias sostenibles, en especial para residuos orgánicos (Porras & González, 2016).

Una alternativa que ha demostrado interés en los últimos tiempos es el aprovechamiento de los residuos orgánicos a través de la aplicación de biodigestores anaerobios. La biodigestión anaerobia es una opción factible para tratar residuos orgánicos, y a su vez considerada como una fuente de energía renovable. Los beneficios del uso de la biodigestión pueden ser determinados de acuerdo a la aplicación de los diferentes productos que se generan (Laines, Sosa, Cámara, Alejandro, & Ferreyro, 2011).

En el proceso de biodigestión de residuos orgánicos se obtienen como productos el biol y el biogás. La composición química del biogás depende primordialmente de dos factores; los materiales empleados en la digestión, y la tecnología utilizada para el proceso. Teniendo eso en cuenta, el biogás puede contener entre 55 a 70% de metano, 30 a 45% de dióxido de carbono, 2 a 3% de nitrógeno y 1,5 a 2% de ácido sulfhídrico. Mientras que, el biol está compuesto por amonio, fósforo, potasio y nitrógeno (Moreno, 2011; Lavinia & Oppenoorth, 2014).

En el Ecuador existen varias experiencias exitosas poco documentadas sobre el uso de fermentados anaeróbicos líquidos conocidos como bioles en diversos cultivos como banano, cacao y arroz. Los resultados que se han alcanzado, son favorables a criterio de los productores que los utilizan y se evidencian en mejor tolerancia al ataque de plagas, enfermedades e incrementos de rendimiento (Robalino, 2011). Por tal motivo y bajo el enfoque de economía circular, la presente investigación tiene como objetivo diseñar un sistema de biodigestión para la producción de biol y biogás mediante el tratamiento de residuos orgánicos procedentes del cantón Santa Rosa.

Materiales y Métodos

Selección de tecnología para el biodigestor.

Mediante una matriz de selección de tecnologías, se evaluó el tipo de biodigestor que resulta ser económicamente factible y de mejor operación de acuerdo al estudio de tres tipos de biodigestores, denominados; biodigestor de domo flotante, domo fijo y de estructura flexible. Para esto se estimará parámetros como la producción, construcción, vida útil, mantenimiento, entre otros (Nuñez, 2016).

Caracterización de la alimentación.

Las cantidades obtenidas de los residuos sólidos domiciliarios y comerciales generados en el cantón Santa Rosa, fueron proporcionados por la Empresa Pública de Aseo (EMASEP) que corresponden al año 2017, los cuales sirvieron como referencia para el diseño del sistema de biodigestión; para objeto de clasificación de dichos residuos se menciona que la empresa EMASEP adquirirá una planta de separación de desechos los cuales alimentarán el biodigestor.

Descripción del proceso.

Para la alimentación se contará con un tanque cilíndrico de almacenamiento de 20 m³, operando a una temperatura de 300,15 K, donde ingresará toda la materia orgánica previamente pesada, triturada y filtrada. El flujo de alimentación que es de 20 m³/h, está proporcionada con dos válvulas, una válvula reductora y otra de seguridad, que operan ambas a una presión de 600000 Pa y una temperatura de 398,15 K, cuyo propósito es regular el tránsito del flujo a una bomba centrífuga. Este flujo, será controlado por dos válvulas, una reductora y otra de seguridad, previo al ingreso del biodigestor con un volumen aproximado de 1829,52 m³, este biodigestor estará regulado a una presión y temperatura de 293,15 – 313,15 K y con un pH de 6,5 -7,5. Obteniéndose, gases y lixiviado. Por otro lado, los gases pasarán a una chimenea donde serán quemados, regulados por una válvula de seguridad. El lixiviado, estará provisto de dos válvulas y una bomba, que ayudaran que pase de una forma controlada al tanque de almacenamiento o laguna de biol, con un flujo másico de 9,97x10⁻⁷ kg/h trabajando a una presión y temperatura de 1,4 x10⁻⁶ Pa y 308,15 K; como se muestra en la Figura 1.

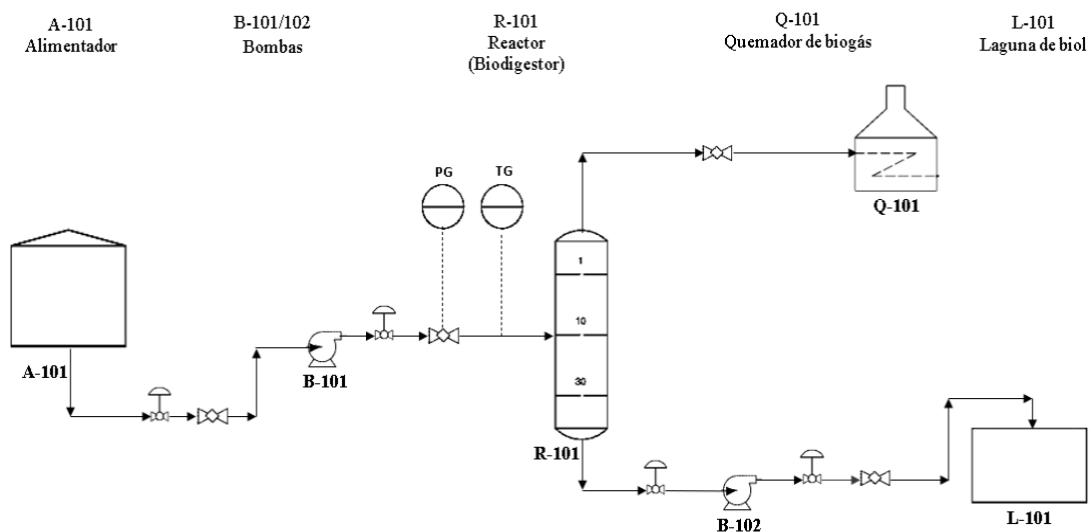


Figura 1.

Diagrama de flujo de proceso (DFP) de la biodigestión.

Balance de masa del biodigestor.

Para el cálculo de la masa volátil (MV) se tomó como referencia la Tabla 1, la cual indica los sustratos empleados para la digestión anaeróbica y sus características.

Tabla 1.
Características de los sustratos empleados para la digestión anaeróbica.

Características	Clase	Tipo de sustrato	Características cuantitativas
Sólido	1	Basura doméstica. Estiércol sólido. Restos de cosecha.	>20% ST 40-70% Fracción orgánica
Lodo altamente contaminante, alta viscosidad	2	Heces animales.	100 – 150 g/l DQO 5-10% ST 4-8% SV
Fluido con alto contenido de sólidos suspendidos (SS)	3	Heces de animales de cría y levante diluido con agua de lavado. Aguas residuales de mataderos.	3-17 g/l DQO 1-2 g/l SS

Nota: Tomado de (Acosta & Obaya, 2005).

La fracción orgánica que presentan los residuos clase 1 son domésticos, estiércol sólido y restos de cosecha, los cuales oscilan entre 40 y 70%, tomándose como referencia un promedio de estos porcentajes. La carga orgánica volumétrica (COV) debe ser alrededor de 1.5 – 2.5 kg /m³. En el que caso que, si es > 3 kg/m³ debe realizarse un control continuo al proceso, debido a que entre mayor sea la COV, menor será el proceso de degradación de la biomasa (Salamanca, 2009).

En lo que corresponde al cálculo del volumen del biodigestor, se relaciona la masa volátil con la carga orgánica volumétrica, como se muestra en la Ec. 1:

$$V = \frac{MV}{COV} \quad (1)$$

Para reducir el porcentaje de masa seca (MS) de la mezcla al 10% se debe adicionar agua considerando la masa seca y la cantidad de agua en masa húmeda (CAMH) es decir, el 80% que hace referencia del 20% de materia seca. Utilizándose como mezcla el biol extraído del biodigestor. De esta manera se inocula la biomasa de alimentación con biol con alto contenido de bacterias y se ahorra agua de proceso (Morocho & Leiva, 2019). Para calcular el tiempo de retención hidráulica (TRH) se emplea la Ec. 2, considerando el volumen de la carga diaria del biodigestor que toma como referencia la densidad con respecto al 80% de agua adicionada y contenida.

$$TRH = \frac{V}{t} \quad (2)$$

La Tabla 2 indica el rendimiento de biogás en función del sustrato, que permite estimar el volumen de biogás que genera cada kilogramo de residuos.

Tabla 2.
 Rendimiento del biogás en función del sustrato.

Materia	Rendimiento del biogás (m ³ /ton)
Estiércol vacuno	40
Estiércol de cerdo	60
Residuos de cosecha	40
Estiércol avícola	115

Nota: Tomado de (Bonifaz & Morales, 2012).

Para calcular la cantidad de biogás producido por día se emplea la Ec. 3, que indica que la densidad es igual a la masa sobre el volumen, considerando que el biogás tiene una densidad de 1.09 kg/m³.

$$\rho = \frac{m}{v} \rightarrow m = (\rho)(v) \quad (3)$$

Por otra parte, para calcular la cantidad de biol producido se empleó el balance general de materia, conociéndose que la entrada es igual a la salida más la acumulación, se obtiene la Ec. 4, la misma que, despejando la variable B que es la cantidad de biol producida, se obtiene la Ec. 5.

$$Ced + A = VG + B \quad (4)$$

$$B = Ced + A - VG \quad (5)$$

Donde; la variable Ced es la cantidad diaria de desechos orgánicos en kg/día y VG es el volumen diario de biogás en m³.

Finalmente, el volumen de metano producido se obtiene a partir de los datos de la Tabla 3, la cual indica que a partir de los desechos orgánicos se obtiene entre un 50 y 80% de metano.

Tabla 3.
 Composición del biogás en función del sustrato.

Componentes	Desechos orgánicos	Lodos cloacales	Desechos industriales	Gas de vertedero
Metano	50-80%	50-80%	50-70%	45-65%
Dióxido de carbono	30-50%	20-50%	30-50%	34-55%
Hidrógeno	0-2%	0-5%	0-2%	0-1%
Sulfuro de hidrógeno	100-7000 ppm	0-1%	0-8%	0,5-100 ppm
Amoniaco	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas

Nota: Tomado de (Bonifaz & Morales, 2012).

Resultados y discusiones

Selección de la tecnología.

La Tabla 4 muestra la matriz de selección que determinó la tecnología más adecuada de acuerdo a los 3 tipos de biodigestores analizados.

Tabla 4.
Evaluación de factores técnicos para la selección de tecnología del biodigestor.

Factores considerados en la selección de tecnología		Tipos de Biodigestor		
		Domo Flotante	Domo Fijo	Estructura Flexible
Factores técnicos		Puntuación		
Proceso	Rendimiento	3	3	1
	Consumo específico de energía	2	2	1
Parámetros	Presión	2	2	3
	Tiempo de retención	3	2	1
	Temperatura	3	2	3
	Eficiencia de producción	2	3	2
Equipos	Mantenimiento	1	3	1
	Limpieza	1	3	1
Vida útil	Velocidad de corrosión	2	3	1
	Grietas causadas por la condición climática	2	3	2
Factores económicos		Puntuación		
Costos de instalación		2	2	3
Costos operacionales		3	3	2
Costos de mantenimiento		2	3	1
Otros factores		Puntuación		
Disponibilidad de la tecnología		1	1	1
Total		26	33	22

En base a los resultados evaluados, el biodigestor de domo fijo en comparación de los demás, obtuvo un puntaje de 33, debido principalmente a su alta eficiencia de producir biol y biogás; es de fácil mantenimiento gracias al tapón de inspección del digestor el cual facilita al momento de su limpieza, no requiere operaciones especializadas ni sistemas de mezclado, el tiempo de vida útil está entre 15 y 20 años y su costo de construcción es moderado ya que su elaboración es a partir de ladrillo, cemento, vidrio y tubos de polietileno. Estos resultados concuerdan con la investigación realizada por Santos (2013), indicando que su costo de construcción, operación, mantenimiento y su eficaz rendimiento comprobado por muchos años, hacen que este diseño sea elegido para la biodigestión de biomasa residual de ganado vacuno en la hacienda Galpón.

Caracterización de alimentación.

En el relleno sanitario “Canoas” del cantón Santa Rosa, siendo este el sitio seleccionado para el diseño del biodigestor, el cual se encuentra alejado de las zonas urbanizadas, se

considera que ingresa un aproximado de 50 toneladas métricas de residuos sólidos al día, que provienen de distintos sectores clasificándolos en residuos sólidos domiciliarios (estrato barrial medio, medio bajo y residencial), residuos sólidos del sector comercial y residuos sólidos del sector institucional. En la Tabla 5 se puede observar la clasificación de los residuos sólidos de los diferentes sectores.

Tabla 5.
Clasificación de la generación de los residuos sólidos por sector.

Residuos	Sector Comercial (ton)	Sector Domiciliario (ton)			Sector Mercado e Institucional (ton)
		E. barrial medio bajo	E. barrial medio	E. residencial	
Orgánico de cocina	7,5	5,2	6,85	6,1	9,0
Papel	1,3	0,4	0,85	0,6	0,15
Cartón	1,5	0,4	0,9	0,65	2,1
Compuestos	0,5	0,5	0,6	0,4	
Peligrosos (pilas, baterías, etc.)	0,05	0,02	0,02	0,01	
Botellas PET	0,4	0,6	0,5	0,5	0,2
Plástico alta densidad	0,02	0,03	0,03	0,02	0,18
Fundas plásticas	1,1	1	0,75	0,95	0,4
Polipropileno	0,05				
Poli estireno	0,02	0,04	0,03	0,05	
Orgánicos de jardín					
Rechazos (papel higiénico, pañales)	0,2	0,1	0,2	0,3	2,1
Textiles	0,03	0,25			
Metálicos ferrosos	0,2	0,4	0,3	0,4	
Vidrio	0,4	0,2		0,2	
Total	13,27	36,35			14,13

Nota: Tomado de (EMASEP, 2017).

De acuerdo a la información proporcionada por la Empresa Pública de Aseo del Cantón Santa Rosa, se puede apreciar la caracterización de estos residuos, respecto a una cuantificación de los diferentes tipos de desechos que se producen en el cantón, donde se determinaron tres recintos de la población empleando criterios de sectorización y nivel socioeconómico, citando los siguientes resultados; en el sector comercial se produce 13,27 ton/día, el sector de mercado e institucional un total de 14,13 ton/día y el sector domiciliario está clasificado por estratos que engloba a un total de 36,35 ton/día, siendo el sector que más produce residuos sólidos en el cantón, ya que cuenta con una población de 69063 habitantes, por lo que se calcula que la cantidad de residuos generados diarios por persona es aproximadamente de 0,72 kg. Por lo que la estimación de materia orgánica que alimentaría al biodigestor de domo fijo, es aproximadamente de 36,35 ton/día, distribuido en tres sectores de generación; de los cuales el sector domiciliario aporta con un 52,38 %, mientras que el sector mercado e institucional aporta con 25,97 % y el sector comercial aporta con la alimentación con 21,65%.

Balance de masa del biodigestor.

Finalmente, en la Tabla 6 se muestra los resultados del balance del biodigestor, la cual indica que, por cada carga de 34650 kg de residuos orgánicos con una masa volátil de 3811,5 kg y adición de 34650 kg de agua, es decir una carga total del biodigestor de 69300 kg con un tiempo de retención hidráulico de 26,4 días, se generan aproximadamente 67,79 toneladas de biol y 1386 m³ de biogás con un contenido estimado de 693~1108,8 m³ de metano.

Tabla 6.
Resultados del balance de masa obtenidos del biodigestor.

Variable	Cantidad	Unidades
Volumen de biogás generado (VG)	1386	m ³ /día
Biol (B)	67,79	ton/día
Volumen de metano producido (V _{CH₄})	693 ~ 1108,8	m ³ /día
Masa volátil (MV)	3811,5	kg/día
Carga Orgánica Volumétrica (COV)	2,5	kg MV/m ³
Volumen del biodigestor (V)	1829,52	m ³
Carga total del biodigestor (Cdb)	69,3	ton
Cantidad de agua en masa húmeda (CAMH)	27,72	ton
Cantidad de agua a adicionar (CAA)	34,65	ton
Tiempo de retención hidráulica (THR)	26,4	días

El resultado obtenido en el THR y COV fueron de 26,4 días y 2,5 kg MV/m³, respectivamente, estos resultados se asemejan con los de Mago, Sosa, Flores, & Tovar, (2014) obteniendo un THR de 26 días y una COV de 2,91 kg MV/m³. Por otro lado, el biol obtenido se lo puede utilizar como biofertilizante en cultivos, mezclándolo con agua de acuerdo al tipo de cultivo; en hortalizas en una dilución del 25% de biol en agua, en frutales un 50% de biol diluido en agua y en cultivos anuales (trigo, papa, haba, maíz, etc.) un 25% de biol en agua (Ribera, 2011). Mientras que el biogás se puede utilizar para la cogeneración, calor de proceso dentro de la misma instalación o como combustible de un vehículo.

Conclusiones

Los desechos orgánicos generados en el cantón Santa Rosa representan una oportunidad de aprovechamiento a través de su biodigestión fomentando prácticas de economía circular. Los parámetros de diseño obtenidos en el proceso fueron los siguientes; volumen del biodigestor de domo fijo =1829,52 m³; el mismo que cuenta con dimensiones mensurables en la parte superior de 55 m de largo y 13 m de ancho y en la parte inferior con 49 m de largo y 7 m de ancho con 3 m de altura. La carga total del biodigestor = 69,3 ton; cantidad de agua en masa húmeda =27,72 ton; cantidad de agua a adicionar =34,65 ton; tiempo de retención hidráulica =26,4 días; volumen de gas =1386 m³/día; biol =67,79 ton/día; volumen de metano producido =639 ~ 1108,8 m³/día; masa volátil =3811,5 kg/día; carga orgánica volumétrica =2,5 kg MV/ m³. Es por ello, que el biol obtenido se lo puede emplear como biofertilizante en cultivos de la zona (banano, cacao) y a su vez, el biogás en la cogeneración de energía para llevar a cabo un proceso.

Referencias

- Acosta, Y., & Obaya, M. C. (2005). La digestión anaeróbica. Aspectos teóricos. *ICIDCA. Sobre los derivados de la caña de azúcar*, 39(1), 35-48. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120659006>
- Bonifaz, C. T., & Morales, H. R. (2012). *Diseño de un biodigestor tipo cúpula fija para generación de biogás a partir de desechos orgánicos*. Tesis de grado.
- EMASEP, E. P. (2017). *Datos estadísticos de la generación de residuos sólidos del cantón Santa Rosa*. Santa Rosa - Ecuador.
- Laines, J. R., Sosa, J. A., Cámara, K. C., Alejandro, J., & Ferreyro, J. (2011). Diseño, construcción y operación de un biodigestor anaerobio tipo cúpula a escala real para la obtención de biogás. *Hacia la sustentabilidad: Los residuos sólidos como fuente de energía y materia prima*, 2(21), 612-616.
- Lavinia, W., & Oppenoorth, H. (2014). *Bioslurry: A supreme fertiliser*. Hivos.
- Mago, M., Sosa, J., Flores, B., & Tovar, L. (2014). Propuesta de diseño de una planta de biogás para la generación de potencia eléctrica en zonas pecuarias de Venezuela a través del programa Biodigestor©. *Revista Ingeniería UC*, 21(2), 60-65. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70732656008>
- Moreno, M. (2011). *Manual de Biogás*. Santiago de Chile: Ministerio de Energía. Obtenido de <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
- Morocho, M. T., & Leiva, M. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola*, 46(2), 93-103. Obtenido de <http://cagricola.uclv.edu.cu/index.php/es/>
- Núñez, O. M. (2016). Diseño y construcción de un digestor para la generación de biogás y fertilizante orgánico. *Centro Azúcar*, 43(2), 35-42. Obtenido de <https://oops.uclv.edu.cu/url-not-available.html>
- Porras, Á. C., & González, A. R. (2016). Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. *Academia & Virtualidad*, 9(2), 90-107. doi:<https://doi.org/10.18359/ravi.2004>
- Ribera, B. (2011). *Guía para la preparación y uso del biol*. Seguridad Alimentaria y Desarrollo Económico Local. Obtenido de <http://saludpublica.bvsp.org.bo/cc/bo40.1/documentos/676.pdf>
- Robalino, H. (2011). *Evaluación de la actividad biológica y nutricional del biol en diferentes formulaciones y la respuesta a su aplicación en cultivos de arroz (Oriza Sativa)*. Tesis de grado.
- Salamanca, A. J. (2009). *Diseño, construcción y puesta en marcha de un biodigestor a escala piloto para la generación de biogás y fertilizante orgánico*. Tesis de grado.
- Santos, W. (2013). *Evaluación del potencial de biomasa residual del ganado vacuno para el aprovechamiento energético en la hacienda Galpón del cantón Salcedo provincia de Cotopaxi*. Tesis de grado.

