

Explorando el potencial biotecnológico de las combinaciones de lixiviados de rellenos sanitarios en la ciudad de Machala

Biotechnological potential of mixtures of leachate from Sanitary landfills of the city of Machala

Geovanny Joel Aguilar Tibanta

Universidad Técnica de Machala

joeltibanta14@gmail.com

ORCID: 0009-0001-4545-5565

Jenner Stalin Encalada Bravo

Universidad Técnica de Machala

jenerencalada23@gmail.com

ORCID: 0009-0001-3187-980X

Héctor Daniel Paredes Armijos

Universidad Técnica de Machala

hectorarm23@gmail.com

ORCID: 0009-0007-4559-8121

Revista de Biotecnología Vol.1 N°1

Versión electrónica

<https://investigacion.utmachala.edu.ec/revistas/index.php/biotecnologia>

RESUMEN

La inadecuada administración de los residuos sólidos urbanos es un peligro social. Analizando la combinación de lixiviados de vertederos y residuos orgánicos logramos las condiciones óptimas para producir metano como fuente de energía sostenible. Nos enfocamos en determinar la distribución óptima de lixiviado y materia orgánica en cada biorreactor para maximizar la generación de metano gracias a las reacciones de descomposición anaeróbicas en la metanogénesis. Logrando resultados eficientes con cada Biorreactor, un claro ejemplo es el biorreactor Numero 1 donde obtuvimos la mayor eficiencia. Estos avances tendrán un impacto positivo en la gestión de residuos sólidos aportando una reducción de la contaminación al poder conocer las condiciones óptimas de generación del biogás en un entorno controlado, lo cual impulsará la energía amigable en los sectores con exceso de desechos contaminantes.

Palabras clave: Residuos Sólidos Urbanos (RSU), metanogénesis, contaminación ambiental.

ABSTRACT

Inadequate management of urban solid waste poses a social hazard. Through the analysis of the combination of landfill leachate and organic waste, we have achieved optimal conditions for methane production as a sustainable energy source. Our focus was on determining the optimal distribution of leachate and organic matter in each bioreactor to maximize methane generation through anaerobic decomposition reactions in methanogenesis. We achieved efficient results with each bioreactor, with a prime example being bioreactor Number 1, where we obtained the highest efficiency. These advancements will have a positive impact on solid waste management by contributing to a reduction in environmental pollution. By understanding the optimal conditions for biogas generation in a controlled environment, this research will drive the adoption of eco-friendly energy solutions in areas burdened by excessive pollutant waste.

Keywords: Urban Solid Waste (USW), methanogenesis, environmental pollution.

INTRODUCCIÓN

“La administración de residuos sólidos domiciliarios representa un gran problema creciente tanto ambiental como social en la actualidad, no solo afectando a nuestra ciudad, provincia o país, siendo este un fenómeno mundial. En la Estrategia Ambiental Nacional (Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente [CITMA], s/f)”, desarrollada por el CITMA, “se identifican los principales problemas que afectan el medio ambiente en Cuba, entre los que resalta la gestión ineficiente de los RSU, siendo esta una de las problemáticas que aparecen, también, en la Estrategia Ambiental de Ciudad de La Habana (Ministerio De Ciencia & Ambiente, 2004)”.

“La creación de rellenos sanitarios municipales aparece como respuesta a la sobreproducción de residuos sólidos que contaminan los alrededores, mayoritariamente las áreas urbanas, lo que produce impactos negativos en el entorno y la calidad de vida dentro de las comunidades (Rodríguez et al., 2005)”.

“El tratamiento inadecuado que estos residuos reciben en los vertederos sanitarios da como resultado la formación de lixiviados, estos son líquidos altamente contaminantes que en su mayor parte contienen una mezcla de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos, produciendo problemas a la hora de su recolección disposición y generando riesgos ambientales (Benton, 2013)”.

La desmesurada acumulación de basura sin un control eficaz contribuye a la propagación de enfermedades transmitidas por vectores, generaciones de gases de efecto invernadero y un deterioro del paisaje a nivel global. (Pohland & Harper, 1985).

Como solución al problema en la administración y gestión de lixiviados en vertederos, se han explorado diversas estrategias para obtener beneficios gracias al potencial biotecnológico que puede producirse a partir del biogás generado por los mismos lixiviados. El biogás, es conocido como una fuente renovable y sostenible de energía amigable, se obtiene mediante la digestión anaeróbica de la materia orgánica presente en los residuos, con el metano como principal producto, obteniendo también otros subproductos beneficiosos (Themelis & Ulloa, 2007; Gómez & Filigrana, 2008).

El poder utilizar los lixiviados de vertederos como sustrato para la producción de metano, es esta una forma de aprovechar dichos desperdicios y mejorar la eficiencia en la generación del biogás. Para conseguirlo, es primordial entender las condiciones operativas específicas, como lo son la composición de la mezcla, temperatura y pH, estos desempeñan un papel fundamental en la producción de metano (Themelis & Ulloa, 2007).

El proceso de producción de biogás se desarrolla en etapas anaeróbicas, que incluyen la hidrólisis, la acidogénesis, la acetogénesis y la metanogénesis, donde se forma el metano. Mantener condiciones anaeróbicas en todo el proceso es fundamental para el funcionamiento eficiente de las bacterias y arqueas involucradas. El control de la temperatura y el pH también es esencial para garantizar un rendimiento óptimo (Camargo & Vélez, 2009).

El biogás resultante está compuesto principalmente por metano (CH_4), que representa entre el 50% y el 75% en volumen, junto con dióxido de carbono (CO_2) en un rango del 25% al 45%. También contiene pequeñas cantidades de otros gases, como hidrógeno (H_2), nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2), vapor de agua y ácido sulfhídrico (H_2S) (Tobares, 2013).

En este contexto, la fermentación metanogénica puede emplear diversas materias primas orgánicas, incluyendo residuos vegetales, animales, agroindustriales, forestales y domésticos. Estos residuos abarcan desde estiércol y residuos de mataderos hasta residuos de pescado. Además del carbono y el nitrógeno, el proceso requiere un equilibrio de sales minerales, que suelen estar presentes en proporciones adecuadas en estiércoles y lodos cloacales (Cortés Rangel, 2021).

El enfoque en la utilización de materia orgánica, en particular las heces de vaca, busca optimizar la producción de metano como biogás. Esta investigación analiza los factores que influyen en la producción de metano, los métodos de análisis de la composición de las heces y las estrategias para mejorar el proceso, con el objetivo de aprovechar al máximo este recurso valioso y abordar eficazmente la gestión de residuos sólidos en la actualidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio, evaluamos el potencial biotecnológico de mezclar lixiviados de relleno sanitario con heces de vaca mediante un proceso de fermentación anaerobia. Este proceso implica varias etapas en las cuales diversos grupos microbianos desempeñan un papel crucial. Cada grupo microbiano utiliza los productos generados por el metabolismo de los microorganismos responsables como sustrato. Cada uno de estos grupos tiene condiciones óptimas específicas para su crecimiento y desarrollo adecuado. Es importante destacar que el control cuidadoso de las condiciones globales de operación es esencial para permitir que todos los grupos microbianos estén activos simultáneamente.

El equilibrio entre la velocidad de generación de productos por un grupo microbiano y la velocidad de consumo de esos productos por el siguiente grupo en el proceso es clave para maximizar la producción de metano y, en última instancia, determinar el potencial biotecnológico de estas mezclas en la generación de gases.

Para llevar a cabo este estudio, utilizamos biorreactores de tipo batch estático y un dispositivo de cromatografía de gases FID (Detector Ionizador de Flama) FI9790II. Se emplearon frascos de 500 ml como biorreactores individuales, cada uno llenado con una mezcla específica de heces de vaca y lixiviados de rellenos sanitarios de la ciudad de Machala hasta alcanzar un volumen de 300 ml.

Selección de la Tecnología y Tipo de Biorreactor:

Con el objetivo de simular de manera fiel los procesos observados en los rellenos sanitarios y garantizar condiciones adecuadas en el laboratorio, se optó por utilizar el siguiente sistema:

Sistema de Biorreactores de Tipo Batch Estático: Se eligió este sistema debido a su simplicidad y economía. En este enfoque, los biorreactores se llenaron con cuidado con las mezclas de lixiviados de relleno sanitario y heces de vaca. Una vez completada la etapa de digestión, se analizaron los gases resultantes utilizando el dispositivo de cromatografía de gases FID FI9790II.

Se llevaron a cabo un total de seis experimentos diferentes, cada uno utilizando una composición de mezcla distinta en los biorreactores, todos dentro de un entorno controlado.

Tabla 1. Composición y Condiciones de Mezclas en los Biorreactores, 2023

Biorreactor	Composición de Mezcla de Lixiviados y Heces de Vaca	pH del Lixiviado	Temperatura (°C)	Días
Biorreactor 1	70% de lixiviado (mezcla de lixiviados maduro y joven 70/30) y 30% de heces de vaca.	7	Temperatura Ambiente (25°C)	10
Biorreactor 2	70% de lixiviado joven y 30% de heces de vaca.	7	Temperatura Ambiente (25°C)	10
Biorreactor 3	60% de lixiviado maduro y 40% de heces de vaca.	7	Temperatura Ambiente (25°C)	10
Biorreactor 4	50% de lixiviado joven y 50% de heces de vaca.	7	Temperatura Ambiente (25°C)	7
Biorreactor 5	70% de lixiviado maduro y 30% de heces de vaca.	7	Temperatura Ambiente (25°C)	7
Biorreactor 6	50% de lixiviado joven y 50% de heces de vaca.	7	Temperatura Ambiente (25°C)	7

Para llevar a cabo este estudio, se realizaron recopilaciones separadas de las fracciones de residuos, específicamente, se obtuvieron los lixiviados de vertederos y las heces de vaca. Es importante destacar que se ajustaron los niveles de pH utilizando ácido cítrico para alcanzar el pH óptimo de 7. Los lixiviados de vertederos se recopilaron en un vertedero ubicado en Ceibales, en la ciudad de Machala, mientras que las muestras de heces de vaca se recolectaron en las áreas de la Facultad de Ciencias Agropecuarias.

La recolección de estas fracciones de residuos se realizó siguiendo procedimientos de recolección y almacenamiento, cuidadosamente diseñados y aplicando prácticas adecuadas de manejo de muestras. Este proceso de recolección permitió asegurar que las fracciones de residuos se mantuvieran

separadas y se conservaran de manera adecuada antes de su uso en los biorreactores para la investigación.

Tabla 2. Proporciones Másicas en gramos(g) de Componentes en los Biorreactores, 2023

Biorreactor	Lixiviado Joven (g)	Lixiviado Maduro (g)	Heces de Vaca (g)
Biorreactor 1	63g	147g	90g
Biorreactor 2	210g	0g	90g
Biorreactor 3	0g	120g	180g
Biorreactor 4	150g	0g	150g
Biorreactor 5	0g	210g	90g
Biorreactor 6	150g	0g	150g

Las proporciones detalladas en la tabla representan las combinaciones específicas de componentes utilizadas en cada uno de los biorreactores de esta investigación. Estas proporciones fueron diseñadas cuidadosamente para investigar el impacto de diferentes mezclas de lixiviado joven, lixiviado maduro y heces de vaca en la producción de metano.

Es importante destacar que el volumen total en cada biorreactor se mantuvo constante en 300 gramos, lo que garantiza una comparación justa y precisa entre los diferentes experimentos. Las proporciones específicas reflejan la variabilidad en la composición de las mezclas y se seleccionaron con base en los objetivos de este estudio.

Los resultados obtenidos de estos biorreactores proporcionarán información valiosa sobre cómo las diferentes proporciones de componentes afectan la generación de metano, lo que contribuirá al entendimiento de los procesos de digestión anaerobia en sistemas similares a los rellenos sanitarios.

RESULTADOS

Tabla 3. Concentraciones de Metano y Dióxido de Carbono en Biorreactores (Días 1,2,3), 2023

Biorreactor	Fecha	Metano (%)	Dioxido de carbono (%)
Biorreactor 1	22-25/08/2023	10.00	25.11
Biorreactor 2	22-25/08/2023	36.7	43.11
Biorreactor 3	22-25/08/2023	21	68.68
Biorreactor 4	22-25/08/2023	-	31.80
Biorreactor 5	22-25/08/2023	-	24.57
Biorreactor 6	22-25/08/2023	-	35

En la Tabla 3, se muestran los valores del parámetro % Metano y % Dióxido de Carbono, evidenciando que el biorreactor 2 tuvo el mejor resultado en relación al metano.

Tabla 4. Concentraciones de Metano y Dióxido de Carbono en Biorreactores (Días 4,5,6,7), 2023

Biorreactor	Fecha	Metano (%)	Dioxido de carbono (%)
Biorreactor 1	25-29/08/2023	43.24	14.27
Biorreactor 2	25-29/08/2023	24.52	58.52
Biorreactor 3	25-29/08/2023	45.01	38.76
Biorreactor 4	25-29/08/2023	17.17	61.72
Biorreactor 5	25-29/08/2023	1.94	61.63
Biorreactor 6	25-29/08/2023	14.21	51.17

En la Tabla 4, se muestran los valores del parámetro % Metano y % Dióxido de Carbono, evidenciando que el biorreactor 1 tuvo el mejor resultado en relación al metano.

Tabla 5. Concentraciones de Metano y Dióxido de Carbono en Biorreactores (Días 8,9,10), 2023

Biorreactor	Fecha	Metano (%)	Dioxido de carbono (%)
Biorreactor 1	29-01/09/2023	72.15	19.62
Biorreactor 2	29-01/09/2023	71	21
Biorreactor 3	29-01/09/2023	62.6	78.91
Biorreactor 4	29-01/09/2023	51.04	42.72
Biorreactor 5	29-01/09/2023	-	-
Biorreactor 6	29-01/09/2023	7.21	62.68

En la Tabla 5, se muestran los valores del parámetro % Metano y % Dióxido de Carbono, evidenciando que el biorreactor 1 tuvo el mejor resultado en relación al metano.

Tabla 6. Concentración de Volumen en los Biorreactores (7 Días) 2023

Fecha	Biorreactor 1	Biorreactor 2	Biorreactor 3	Biorreactor 4	Biorreactor 5
22/08/2023	400ml	500ml	300ml	200ml	1550ml
23/08/2023	600ml	550ml	450ml	400ml	200ml
24/08/2023	200ml	450ml	100ml	250ml	50ml
25/08/2023	200ml	500ml	200ml	300ml	250ml
26/08/2023	400ml	450ml	500ml	475ml	250ml
27/08/2023	700ml	250ml	100ml	450ml	200ml
28/08/2023	50ml	300ml	300ml	250ml	450ml

En la Tabla 6, se muestran los valores del volumen generado por los gases, evidenciando que el biorreactor 2 tuvo el mejor resultado en relación a la eficiencia y producción.

DISCUSIÓN

La variabilidad en las concentraciones de metano y dióxido de carbono en los biorreactores se vuelve aún más esclarecedora cuando consideramos la composición y las condiciones de mezcla de los sustratos.

En el primer muestreo, el biorreactor 2 mostró una concentración significativamente alta de metano, a pesar de recibir una cantidad sustancial de heces de vaca. Esto podría explicarse por su mezcla de lixiviado joven, que podría contener una comunidad microbiana más eficiente en la producción de metano. Además, el biorreactor 1, que también recibió heces de vaca, mostró un aumento significativo en la concentración de metano con respecto al muestreo anterior. La mezcla de lixiviado maduro y joven (70/30) en este biorreactor podría haber favorecido el crecimiento de microorganismos metalogénicos.

En el segundo muestreo, se observa una disminución en la concentración de metano en el biorreactor 2, a pesar de recibir una cantidad constante de heces de vaca. Esto podría sugerir cambios en la comunidad microbiana debido a la introducción de lixiviado joven en lugar de la mezcla 70/30 utilizada anteriormente.

En el tercer muestreo, el biorreactor 1 continuó mostrando una alta concentración de metano, lo que podría estar relacionado con su mezcla de lixiviado maduro y joven. Sin embargo, el biorreactor 3, que recibió una mezcla de lixiviado maduro y heces de vaca, mostró una concentración de metano significativamente más baja en comparación con los dos muestreos anteriores. Esto indica que la composición de la mezcla puede tener un impacto directo en la producción de metano, y que una mayor proporción de lixiviado maduro podría no ser beneficiosa en este caso.

Las condiciones de pH y temperatura en los biorreactores se mantuvieron constantes en la mayoría de los casos, lo que sugiere que estos factores no son la principal causa de las variaciones en la producción de metano observadas en los muestreos.

Respecto al volumen los datos de los biorreactores a lo largo de siete días muestran fluctuaciones significativas en los volúmenes del gas. Cada biorreactor tiene su propia dinámica de cambios en el volumen, lo que puede indicar variaciones en los procesos de producción o demanda. La estabilidad del Biorreactor 2 sugiere un proceso de producción más controlado y el mas eficiente, mientras que los cambios en otros biorreactores pueden indicar desafíos en la planificación de la producción y la necesidad de ajustes en los flujos de entrada y salida para optimizar la eficiencia de producción.

CONCLUSIÓN

El seguimiento de este estudio respalda la importancia crítica de la composición de la mezcla de sustratos en la producción de metano en biorreactores. La mayor eficiencia en la producción de metano se logró en el biorreactor que utilizó una mezcla compuesta por un 70% de lixiviado maduro y un 30% de heces de vaca en el tercer muestreo. Esto destaca la influencia significativa de la proporción específica de lixiviado joven y maduro en la producción de metano.

Además, se destacó la adaptabilidad de las comunidades microbianas en los biorreactores a lo largo del tiempo, lo que sugiere la capacidad de estas comunidades para ajustarse a condiciones cambiantes. Sin embargo, también se observaron fluctuaciones en la producción de metano en algunos biorreactores, lo que destaca la importancia de un monitoreo continuo y la optimización de las condiciones de operación.

En cuestión del volumen obtenido los datos resaltan la necesidad de adaptarse a las fluctuaciones en la producción y tomar medidas para optimizar la gestión de los biorreactores, pero se obtuvo información muy valiosa.

En última instancia, estos hallazgos resaltan la importancia de la composición de la mezcla de sustratos y el control de las condiciones de operación en la producción de metano en biorreactores. Para lograr un rendimiento óptimo en la producción de biogás, es esencial considerar cuidadosamente la selección de la mezcla de sustratos y realizar ajustes basados en un monitoreo continuo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENTON- J. y SHORT, Cities and Nature, University of Oxon. Estados Unidos: Routledge. 2013, pp.379.
- Camargo, Y. & Vélez, A. (2009). Emisiones de Biogás producidas en rellenos sanitarios. *II Simposio Iberoamericano de ingeniería de residuos*. REDI-SA. UNIVERSIDAD DEL NORTE
- Cortés Rangel, R. J. (2021). *Identificación de las condiciones fisicoquímicas de un biodigestor anaerobio y de los lodos que se generan en la producción de biogás a partir de residuos orgánicos domésticos*.
- Gómez, R.S., Filigrana, P.A. (2008). Descripción de la calidad del aire en el área de influencia del Botadero de Navarro, Cali, Colombia. *Colombia Médica*. Vol 39(3): 245-252
- Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. CITMA. *Estrategia Ambiental Nacional*. Ciudad de La Habana, Cuba, 27, 1999 12.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. *CITMA Estrategia Ambiental de Ciudad de La Habana, Ciudad de La Habana, Cuba, 2004*.
- Pohland, F.G., Harper, S.R. (1985). Critical review and summary of leachate and gas production from landfills, EPA/600/2-86/073.
- Rodríguez G.S., Sauri R.M. Peniche A.I. (2005). Aerotransportables viables en el área de tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales de Mérida, Yucatán. *Ingeniería Revista Académica*, 9(3):19-29.
- RODRÍGUEZ, CONTRERAS J.C. *Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos Domiciliarios en Colombia Mitos y Realidades*. Tesis inéditas Universidad Militar Nueva Gerona. Bogotá 2015. pp. 3
- Themelis, N. J., & Ulloa, P. A. (2007). Methane generation in landfills. *Renewable energy*, 32(7), 1243-1257.
- Tobares, L. (2013). La importancia y el futuro del biogás en la Argentina. *Petrotecnia*, 68-74.