

Evaluación de la co-digestión de estiércol porcino, estiércol avícola, cascara de banano y gallinaza (estiércol avícola con cáscara de arroz) para la producción de biogás

Evaluation of co-digestion of pig manure, poultry manure, banana peel and chicken manure (poultry manure with rice husk) for biogas production

Diego Joel Jumbo Robles¹, Janner Mauricio Apolo Valle², Hugo Ítalo Romero Bonilla³
y Ofelia Alexandra Granda Morocho⁴

¹<https://orcid.org/00009-0002-0510-6843>. Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador, djumbo7@utmachala.edu.ec

²<https://orcid.org/00009-0008-0803-6098>. Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador, Japolo12@utmachala.edu.ec

³<https://orcid.org/00000-0002-7846-0512>. Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador, hromero@utmachala.edu.ec

⁴<https://orcid.org/00000-0001-8850-8180>. Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador, ogranda@utmachala.edu.ec

Fecha de recepción: dd/mm/año
Fecha de aceptación del artículo: dd/mm/año



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons
Reconocimiento-No comercial-SinObraDerivada 4.0 internacional.

Resumen

El biogás es una fuente de energía renovable generada a partir de la descomposición anaeróbica de materia orgánica, donde se producen principalmente dióxido de carbono y metano, este último utilizado para la generación de energía eléctrica y térmica. En este estudio, se evaluaron tres prototipos de biodigestores sellados con diferentes sustratos orgánicos: estiércol porcino, estiércol avícola, gallinaza, cáscara de banano y agua. Estos prototipos estaban diseñados para permitir la liberación de gases mientras mantenían un ambiente anaeróbico para poder generar la producción de biogás. Se midió la producción de metano, hidrógeno, gas licuado de petróleo (GLP), monóxido de carbono, propano y etanol, utilizando sensores diarios. Los resultados mostraron, el biodigestor que contiene biomasa de cáscara de banano, agua y estiércol de porcino generó mayor contenido de gases en las propiedades fisicoquímicas medidas, durante un tiempo de 6 semanas que se realizaron las mediciones. En conclusión, el biogás se destaca como una alternativa limpia y sostenible a los combustibles fósiles en la generación de electricidad y calefacción. El estudio también busca evaluar la codigestión de estiércol porcino, estiércol avícola y gallinaza para identificar la combinación óptima de sustratos que maximice la producción de biogás.

Palabras clave: Biogás, biodigestor, biocombustible, metano, LPG (gas licuado de petróleo).

Abstract

Biogas is a renewable energy source generated from the anaerobic analysis of organic matter, where mainly carbon dioxide and methane are produced, the latter used for the generation of electrical and thermal energy. In this study, three prototypes of sealed biodigesters were evaluated with different organic substrates: pig manure, poultry manure, chicken manure, banana peel and water. These prototypes were designed to allow the release of gases while maintaining an anaerobic environment to generate biogas production. The production of methane, hydrogen, liquefied petroleum gas (LPG), carbon monoxide, propane and ethanol were measured, using daily sensors. The results showed that the biodigester containing banana peel biomass, water and pig manure generated higher gas content measured in the physicochemical properties, during a period of 6 weeks in which the measurements were made. In conclusion, biogas stands out as a clean and sustainable alternative to fossil fuels in the generation of electricity and heating. The study also seeks to evaluate the co-digestion of pig manure, poultry manure and chicken manure to identify the optimal combination of substrates that maximizes biogas production.

Keywords: Biogas, biodigester, biofuel, methane, LPG (liquefied petroleum gas).

1. Introducción

Los residuos orgánicos que provienen de la ganadería, agricultura y agroindustria representan un problema debido a la emisión de gases tóxicos, que dañan el medio ambiente y causan enfermedades. Muchos países depositan estos desechos en vertederos para mitigar su impacto ambiental. Estos desechos orgánicos en descomposición, generan gases como metano y dióxido de carbono [1], que se podría aprovechar para la producción de energía renovable.

La producción de energía renovable, como el biogás, ha ganado importancia. El biogás se produce mediante la descomposición anaeróbica de materia orgánica en digestores, donde las bacterias descomponen los residuos sin oxígeno, generando biometano. Este metano es capturado y utilizado como combustible y para la generación de energía eléctrica [8].

El aumento de la producción porcina y avícola en los últimos 15 años ha generado grandes cantidades de desechos, impactando negativamente al medio ambiente [2].

La investigación busca aprovechar la materia orgánica mediante biodigestores para producir biogás, reduciendo así los desechos y las emisiones de gases de efecto invernadero.

1.1. Biogás

La digestión anaeróbica (AD) se sigue utilizando ampliamente para la producción de biogás, debido a la solidez de sus principales configuraciones y diseños [22]. Esta tecnología cumple múltiples funciones: primero, actúa como una plataforma de tratamiento que reduce grandes cantidades de materiales orgánicos complejos, transformando la mayoría de estas moléculas en monómeros, como metano y dióxido de carbono (componentes de biogás). Además, el sustrato rico en nutrientes generado por el

proceso de AD se recicla principalmente en tierras agrícolas, sirviendo como fertilizante orgánico. Esto reemplaza cada vez más a los fertilizantes químicos y reduce los impactos ambientales negativos, como la eutrofización de los sistemas de agua dulce, que ocurrirían si la eliminación de estos nutrientes no se gestionara adecuadamente [22].

La digestión anaeróbica es un proceso biológico que se desarrolla en varios pasos: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. Durante la hidrólisis, los compuestos complejos se descomponen en moléculas más simples. En la acidogénesis, estas moléculas se convierten en ácidos grasos volátiles. Posteriormente, en la acetogénesis, los ácidos se transforman en acetato, hidrógeno y dióxido de carbono. Finalmente, en la metanogénesis, los metanógenos convierten el acetato y el hidrógeno en metano [2].

El biogás está compuesto principalmente por metano (50-70%) y dióxido de carbono (30-50%), junto con trazas de otros gases como el hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, y vapor de agua. La eficiencia de una planta de biogás depende de diferentes variables, como el tipo de biomasa [18], la digestión [19], el porcentaje de C/N en la biomasa, las impurezas que pueden alterar los microorganismos [20] y el contenido de lignina [22],[25].

Las diferentes biomásas de estiércol presentan variaciones en la composición orgánica y contenido de materia seca (1,5%-30%), ocasionando alteraciones al biogás producido. La codigestión se emplea frecuentemente debido a que la proporción ideal de carbono a nitrógeno para la producción de biogás se encuentra entre 20:1 y 30:1. Sin embargo, el estiércol generalmente presenta una baja proporción de carbono, por lo que es crucial combinarlo con otros sustratos ricos en carbono para mejorar la producción de biogás. [14], [17].

A pesar de sus ventajas, la producción de biogás enfrenta desafíos como la variabilidad en la composición de los sustratos, la necesidad de tecnología adecuada para la digestión anaeróbica y la gestión de olores [4].

1.2. Definición de biomasa

Es la materia orgánica renovable que proviene de los ciclos biológicos que se dan espontáneamente en la naturaleza y que puede ser aprovechada para obtener energía calórica, lumínica o eléctrica [35].

1.3. Cáscara de banano

Está compuesta por celulosa, hemicelulosa y lignina. La proporción de estos componentes varía según el origen de las materias primas. Además, es una fuente significativa de materias primas celulósicas [3].

1.4. Cáscara de arroz

La cascarilla de arroz tiene una estructura con un volumen poroso del 54% y un coeficiente de conductividad térmica de 0.04 W/mK. Se utiliza como componente principal en sistemas de aislamiento térmico debido a su comportamiento ignífugo y alta estabilidad bioquímica. Además, contiene una alta concentración de silicio (entre 90 y 97% de SiO) y es rica en componentes lignocelulósicos. [26]

1.5. Gallinaza

La gallinaza tiene un alto contenido de humedad, elevados niveles de nitrógeno, que se volatilizan rápidamente [27], [29]. Por eso se considera importante transformar la gallinaza mediante distintos tratamientos, ya que posee un gran valor orgánico y puede ser utilizada para diversos propósitos. Generalmente, la gallinaza se usa como abono, y su composición varía principalmente según la dieta y el método de alojamiento de las aves [28], [29].

1.6. Estiércol porcino

El estiércol porcino, de consistencia líquida, es la mezcla de heces, orina, agua de la limpieza de los corrales, más el alimento y agua que se desperdicia; tiene valor agronómico, ya que se puede usar como abono orgánico, para la producción de cultivos sin impactos ambientales significativos. Si no es manejado adecuadamente, puede impactar negativamente al medio ambiente, perjudicando, el medio hídrico, atmosférico y suelo [36].

1.7. Estiércol avícola

Es un subproducto orgánico resultante de la crianza intensiva de aves, compuesto principalmente de excretas, restos de alimento y plumas. Se lo puede usar para mejorar suelos. En ciertos casos, necesita tratamiento para evitar malos olores. Uno de estos tratamientos es la digestión anaerobia, que no solo produce biogás para la generación de energía eléctrica y/o térmica, sino que también genera un lixiviado que funciona como fertilizante [37].

Tabla 1. Rendimiento de diferentes biomásas

	Rendimiento de metano, %	Rendimiento de biogás, m3/t
Estiércol de ganado (líquido)	60	25
Estiércol de ganado	60	45
Estiércol de porcino (líquido)	65	28
Estiércol de porcino	60	60
Estiércol de aves de corral	60	80
Ensilaje de maíz	52	202

	Rendimiento de metano, %	Rendimiento de biogás, m3/t
Ensilaje de hierba	52	172
Residuo orgánico	61	100

2. Metodología

Determinaremos la eficacia de diferentes tipos de biomasa animal en la producción de biogás, analizando sus características fisicoquímicas y su potencial como fuente de energía renovable. El método que se usaremos para este proyecto se centra que es lógico deductivo, centrado en la producción de biogás a partir de biomasa animal y su análisis comparativo [5].

Las muestras obtenidas para la elaboración de estos biodigestores se centraron en una granja en especial Granja San Vicente, cantón Balsas, de donde pudimos encontrar los 3 tipos de biomazas para llevar a cabo dicha experimentación y poder corroborar cual es la mejor biomas de las cuales recolectamos fueron las siguientes: Estiércol porcino, Estiércol avícola, Gallinaza (mezcla de estiércol avícola y cáscara de arroz) estas muestras se recolectarán en envases plásticos esterilizados y sellados para evitar contaminaciones y preservar sus composiciones [10].

Las cuales fueron trasladadas a la Universidad Técnica de Machala, específicamente al laboratorio de Electro analíticas de la Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud. Se utilizaron tres prototipos sellados, cada uno con diferentes combinaciones de biomasa y agua, incluyendo cáscara de banano. Estiércol porcino, estiércol avícola y gallinaza mezclados con cáscara de arroz y agua en proporciones óptimas, siguiendo prácticas recomendadas en la literatura científica. Se inocularán las mezclas con bacterias metanogénicas para potenciar la producción de biogás. Estas bacterias son esenciales para el proceso de digestión

anaeróbica, facilitando la conversión de materia orgánica en biogás. Ambiente: Los biodigestores se mantendrán en condiciones anaeróbicas y a una temperatura controlada para favorecer la actividad de las bacterias metanogénicas. Se realizarán mediciones diarias de la producción de biogás utilizando sensores de gas para cuantificar metano, dióxido de carbono y otros gases generados. Características fisicoquímicas: Se evaluarán las propiedades de los biogases producidos, así como el digestivo resultante, para determinar su potencial como fertilizante [6].

Comparación de rendimientos: Se compararán los rendimientos de biogás de cada prototipo para identificar cuál combinación de biomasa es más eficaz [9]. La producción de biogás a partir de residuos orgánicos, como el estiércol y la cáscara de banano, no solo proporciona una alternativa de combustible sostenible, sino que también contribuye a la reducción de daños ambientales causados por combustibles convencionales. Además, el uso de estos residuos mejora la salud ambiental al disminuir la acumulación de desechos orgánicos y las emisiones de gases de efecto invernadero. La implementación de este proyecto permitirá no solo la producción de biogás como fuente de energía renovable, sino también el aprovechamiento de residuos orgánicos, mejorando así la sostenibilidad [7].

2.1. Variables independientes y dependientes

Tabla 2. Variables de estudio para la elaboración de biogás a partir de diferentes biomazas vegetal y animal.

Variables independientes	Variables dependientes
Estiércol porcino	Hidrogeno
Estiércol avícola	LPG (gas licuado de petróleo)
Gallinaza	Metano

Variables independientes	Variables dependientes
	Monóxido de carbono
	Etano
	Propano

Fuente: Elaboración propia

2.2.Procedimiento

Se recolectaron varias biomásas para llenar los biodigestores.



Procedemos las cascará de banano que será usada.



Pesamos a cantidad de cascara que se mezclara con agua igual a los 3 prototipos.



Realizamos los biorreactores con una proporción de estiércol, biomasa vegetal y agua.



Dejamos reposando un día para que comience actuar los biodigestores y cuidamos que no se exploten y sacamos el exceso de biogás generado.



Y a partir del día 2 empezamos con las mediciones hasta la semana 6.



2.3. Modelo estadístico

Se utilizó un modelo de diseño de mezcla, debido a que nuestra experimentación se basa en una superficie de respuesta de varios componentes. Para cada biorreactor se asignó una mezcla de tres componentes Estiércol, Cascara y agua. Exceptuando a la gallina que viene con una proporción de cascarilla de arroz y estiércol avícola.

Utilizamos el software Minitab diseño centroide simplex, porque nos proporciona información sobre el interior de la superficie de respuesta, mejorando la cobertura del espacio del diseño.

3. Resultados y discusión

El análisis de los tres biorreactores nos indica que la mezcla de estiércol porcino y cáscara de banano es más eficiente para la producción de biogás, según lo investigado por [25] la eficiencia de esta combinación se debe a su balance óptimo de nutrientes y composición orgánica, que favorece la actividad microbiana necesaria para la generación de biogás. El segundo biorreactor estiércol avícola con cascara de banano y tercer biorreactor gallinaza con cascara de banano son viables, pero no alcanzan los mismos niveles de eficiencia del primer biorreactor, según lo investigado por

[30] debido a los altos niveles de nitrógeno y humedad en el estiércol avícola y la gallinaza, que afectan negativamente la producción de biogás.

Tabla 3. Durante las 6 semanas se realizó 10 mediciones y se obtuvieron los siguientes resultados en ppm (valores promedios):

Variables de respuesta	Biorre-actor 1	Biorre-actor 2	Biorre-actor 3
Hidrogeno	292,900	5,667	54,950
LPG	196,767	4,342	32,767
Metano	518,000	6,008	165,517
Monóxido de carbono	2072,417	12,917	1169,483
Etano	739,092	4,192	126,992
Propano	172,383	3,300	34,867

Fuente: Elaboración Propia.

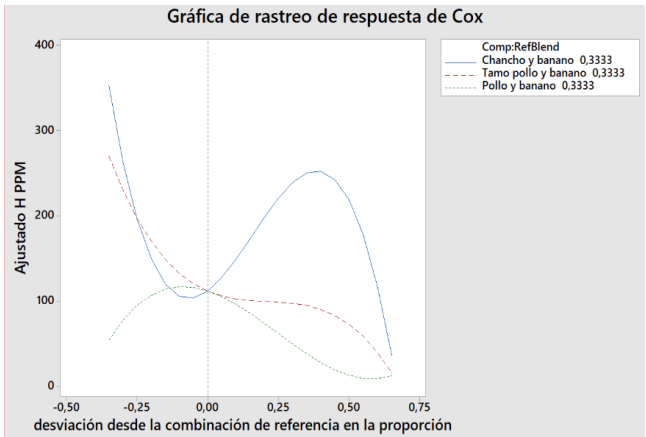


Figura 4. Se muestra la mejor proporción para la obtención de CO.

Fuente: Minitab 19.

Se observa que el biorreactor que contiene estiércol porcino y cascara de banano obtuvo mejor rendimiento de monóxido de carbono, un componente del biogás con alta proporción al igual que el CO₂, ha sido identificado. Según investigaciones del CO está presente en todas las biomásas por cual es un compuesto que se necesita extraer para poder enriquecer el biogás. [8] [9]

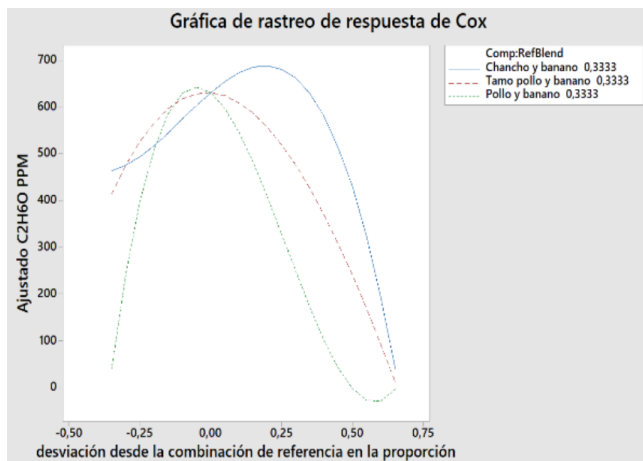


Figura 5. Se muestra la mejor proporción para la obtención de C₂H₆O.

Fuente: Minitab 19.

Se evidencia que el biorreactor que contiene estiércol porcino y cascara de banano obtuvo mejor rendimiento, según investigaciones por [35] los tres principales componentes de la biomasa vegetal (celulosa, hemicelulosas y lignina) tienen aplicaciones prácticas destacables para la producción de etano, mientras que la lignina se usa como fuente de combustible, en adhesivos o como inmucoadyuvantes. También [4] [5] el etano es un componente de los combustibles de primera generación, obtenidos de materia orgánica vegetal como la caña de azúcar y el maíz.

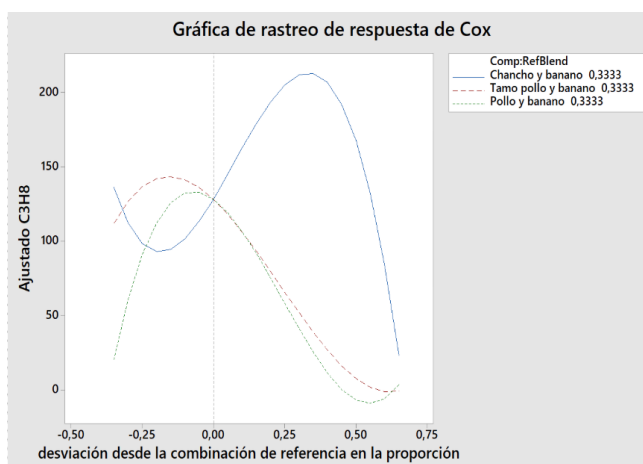


Figura 6. Se muestra la mejor proporción para la obtención de C₃H₈.

Fuente: Minitab 19.

Se evidencia que el biorreactor que contiene estiércol porcino y cascara de banano obtuvo mejor rendimiento propano, según investigaciones de del propano es considerado un componente de los biocombustibles de primera generación. teniendo en cuenta que se trabajará con residuo orgánico de cerdo[6]. El propano se obtiene principalmente como subproducto del proceso de producción de aceite vegetal hidro tratado, debido a la presencia de lignina es un componente estructural complejo de las plantas que se encuentra en las cascara de banano y se obtiene mediante procesos de pirólisis, gasificación o licuefacción que, puede descomponerse en una mezcla de gases, entre ellos propano.

4. Conclusiones

La importancia de identificar el área con el mayor porcentaje de biomasa, ya que es la principal fuente para la producción de biocombustibles. [9] La composición de la biomasa puede variar según el lugar y origen de la materia prima, por lo que se han realizado diversos estudios para determinar dónde se encuentran las mayores concentraciones de celulosa, hemicelulosa y lignina. Estos componentes influyen en la generación de biocombustibles y las emisiones de gases de efecto invernadero en áreas cercanas a las agroindustrias [8].

Según los resultados obtenidos de los componentes analizados del biogás, hidrogeno, metano, LPG, monóxido de carbono, metano y propano. De los tres biorreactores, se determina que el biorreactor uno (estiércol porcino con cascara de banano) presenta mejor contenido biogás con un valor de 666,25 ppm, en segundo lugar, biorreactor tres (estiércol avícola con cascara de banano) con un valor de 264,096 ppm y en tercer lugar el biorreactor dos (gallinaza con cascara de banano) con un valor de 6,91. A pesar que todos tienen concentraciones de celulosa, hemicelulosa y lignina. El primer biorreactor presenta mejor eficiencia porque la combinación del estiércol porcino tiene

un mejor balance en las concentraciones de C/N [31], pero es importante ajustar las proporciones de las variables independientes según la naturaleza del biocombustible y su generación (primera, segunda o tercera) [10].

Agradecimiento

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a la Ingeniera Ofelia Granda por su inagotable paciencia, guía y sabiduría. Su dedicación y compromiso con nuestro crecimiento académico han sido una fuente muy importante, ayudándonos a desarrollar mejor nuestros conocimientos y poder llegar al objetivo planteado. También queremos agradecer al Doctor Hugo Romero por abrirnos las puertas de su laboratorio y brindarnos los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación. Su confianza en nuestro proyecto ha sido crucial para poder hacerlo realidad.

Referencias bibliográficas

1. Campi, P., Enrique, F., Medina, S., & Estefanía, E. (n.d.). universidad de guayaquil facultad de ingeniería química carrera de ingeniería química tema: evaluación de la mejor alternativa para la obtención de gas metano a partir de materia orgánica para su uso como biocombustible auto-res. https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UG_b330ded5d16e08bf77322437ba3a83e6
2. Guevara, C. A., Arenas, H. A., Mejía, A., & Peláez, C. A. (2012). Obtención de etanol y biogás a partir de banano de rechazo. *Informacion Tecnologica*, 23(2), 19–30. <https://doi.org/10.4067/S07180764201200020000428>
3. Martínez-Cardozo, C., Cayón-Salinas, G., & Ligarreto-Moreno, G. (2016). Composición química y distribución de materia seca del fruto en genotipos de plátano y banano. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 17(2), 217-227, e-ISSN: 2500-5308. https://doi.org/10.21930/rcta.vol17_num2_art:491.
4. Ministerio del Ambiente y Agua (2020a,b). Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos municipales. Primera Edición, ISBN: 978-9942-8846-0-2. Quito, Ecuador: Asociación de Municipalidades del Ecuador y la Fundación ACRA. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/MANUAL-DE-APROVECHAMIENTO-DE-RESIDUOS-ORGANICOS-MUNICIPAL.pdf>
5. Retto, P. (2019). Potencial energético de la producción de bioetanol a partir de residuos agroindustriales lignocelulósicos en el Perú. Tesis. Trujillo, Perú: Universidad Nacional de Trujillo. Recuperado de: <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNI-TRU/12153>
6. Ramírez, J. C., Parra M, Y., Zárate Chaves, Ángela M., & Moreno Bernal, C. A. (2010). Ingeniería básica para el proceso de generación de biogás, a partir de porquinaza. *Publicaciones E Investigación*, 4(1), 93-110. <https://doi.org/10.22490/25394088.580>
7. European commission Catalytic Reforming of Glycerol to Hydrogen and Biopropane in Hydrothermal Media, 2023-02-28. <https://doi.org/10.3030/892998>.
8. Campi, P., Enrique, F., Medina, S., & Estefanía, E. Evaluación de la mejor alternativa para la obtención de gas metano a partir de materia orgánica para su uso como biocombustible. Universidad de Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/57469>.
9. Ávila-Hernández, M; Campos-Rodríguez, R; Brenes-Peralta, L; Jiménez-Morales, M. Generación de biogás a partir del aprovechamiento de residuos sólidos biodegradables en el Tecnológico de Costa Rica, sede Cartago. *Tecnología en Marcha*. Vol. 31-2. Abril-Junio 2018. Pág 159-170. <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v31i2.3633>
10. Ramírez, Tania, Ojilve Medrado, y Luis Escobedo-Cazán. 2020. —Generación de energía en plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). El caso de la PTAR zona noroeste, Villahermosa, México. *enerLAC: Revista de Energía de Latinoamérica y el Caribe* 4 (1): 12-30. <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/8410/1/T3670-MCCSD-Espinosa-Biogas.pdf>
11. Rico, Javier. 2019. —Solo se aprovecha el dos por ciento del potencial mundial de producción de biogás. *Energías renovables: El periodismo de las energías limpias*. 17 de julio de 2019 <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/8410/1/T3670-MCCSD-Espinosa-Biogas.pdf>

12. Olmedo, Jonathan y Jonnathan Curillo. 2019. —Proyecto técnico con enfoque general: Valoración de la producción de energía eléctrica a partir del biogás que se genera en el relleno sanitario Ceibales de la ciudad de Machalall. Trabajo de titulación de pregrado. Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18166>
13. IB Tech. 2020. Biogás en México: Lecciones aprendidas de los proyectos de cooperación 2018-2019. EA Energy Analyses. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Global-cooperation/Publications_reports_papers/lecciones_aprendidas_esp.pdf
14. Machado, Jonathan. 2020. —Conozca la ruta de las 2.200 toneladas diarias de basura producidas en Quitoll. Primicias. 20 de febrero. <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/conozca-ruta-basura-quito/>
15. 2020. —Emgirs declara la emergencia en relleno sanitario de El Inga; operadores se encargarán de construir otro cubeto y del tratamiento de lixiviadosll. El Comercio. 24 de junio. <https://www.elcomercio.com/actualidad/emgirs-emergencia-relleno-sanitarioinga.html>.
16. Caracterización de residuos sólidos urbanosll. Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Accedido 19 de enero de 2020. <https://www.emgirs.gob.ec/index.php/zenkit/visitas-al-rellenosanitario-2>
17. —Plan Estratégico Emaseo EP 2020-2023ll. Empresa Pública Metropolitana de Aseo de Quito. 10 de enero. https://www.emaseo.gob.ec/documentos/pdf/2020/Plan_Estrategico_EMASEO_EP_2020-2023.pdf.
18. Meyer A. K. P., Ehimen E. A., Holm-Nielsen J. B. Future European biogas: Animal manure, straw and grass potentials for a sustainable European biogas production. *Biomass and Bioenergy* 2018;111:154–164. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.05.013>
19. Mano Esteves E. M., Naranjo Herrera A. M., Peçanha Esteves V. P., Morgado C. R. V. Life cycle assessment of manure biogas production: A review. *Journal of Cleaner Production* 219:411–423. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.091>
20. Muizniece I., Zihare L., Pubule J., Blumberga D. Circular Economy and Bioeconomy Interaction Development as Future for Rural Regions. Case Study of Aizkraukle Region in Latvia. *Environmental and Climate Technologies* 2019;23(3):129–146. <https://doi.org/10.2478/rtuect-2019-0084>
21. Blumberga, D., Veidenbergs, I., Romagnoli, F., Rochas, C., Žandeckis, A. *Bioenergy Technologies*, Riga: RTU, 2011. <https://ortus.rtu.lv/science/en/publications/11177>.
22. Lauka D., Slisane D., Ievina L., Muizniece I., Blumberga D. When Bioeconomy Development Becomes a Biomass Energy Competitor. *Environmental and Climate Technologies* 2019;23(3):347–359. <https://doi.org/10.2478/rtuect2019-0100>.
23. Conti F., Saidi A., Goldbrunner M., CFD Modelling of Biomass Mixing in Anaerobic Digesters of Biogas Plants. *Environmental and Climate Technologies* 2019;23(3):57–69. <https://doi.org/10.2478/rtuect-2019-0079>
24. J.B. Holm-Nielsen, T. Al Seadi, P. Oleskowicz-Popiel, The future of anaerobic digestion and biogas utilization, *Bioresour Technol* 100 (2009) 5478e5484. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.046>

25. K. Bumbiere, A. Gancone, J. Pubule, V. Kirsanovs, S. Vasarevicius and D. Blumberga "Ranking of Bioresources for Biogas Production", 2020, vol. 24, no. 1, pp. 368–377. 07/31/2024. <https://doi.org/10.2478/rtuect-2020-0021>
26. Llanos, O. (2016). La cascarilla de arroz como una alternativa en procesos de descontaminación ambiental. *Producción + limpia*, 11(2), 153-156. 10.22507/pml.v11n2a12. https://www.researchgate.net/publication/313454708_La_cascarilla_de_arroz_como_una_alternativa_en_procesos_de_descontaminacion
27. Tobar M. y Egas V. 2002. SECTOR AVÍCOLA. Superintendencia de Bancos y Seguros del Ecuador, Dirección Nacional de Estudios y Estadísticas, Dirección de investigaciones. (En línea). Consultado, 24 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: www.superban.gov.ec
28. Rodríguez, M. 2007. Diseño completamente al azar. (En línea). Consultado, 15 de agos. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.web.facpya.uanl.mx>
29. G.Montesdeoca, A. Salázar, Evaluación de Relaciones entre gallinaza y agua en la producción de biogas en la granja avícola "Zambrano Ponce" del cantón Chone, ESPAM, Calceta, Manabi, Ecuador. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/601>
30. Reyes, J. M., & Barrenechea Ramirez, S. (2022). Estimación del potencial energético técnico a partir de biomasa residual agroindustrial y pecuario en el Perú. *REVISTA DE INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA PRODUCTIVA*, 3(1), e004. <https://doi.org/10.54353/ritp.v3i1.e004>.
31. Riascos - Vallejos, A. R., Apráez-Guerrero, J. E., Vargas M, D. P., y Londoño-Arcila, A. (2018). Efecto de la suplementación con ensilaje de estiércol porcino sobre los indicadores productivos en bovinos Hartón del Valle. *Orinoquia*, 22(1), 34–40. <https://doi.org/10.22579/20112629.477>.
32. A.Corma, S. Iborra, M.Climent, K. Sulay, Procedimiento de obtención de moléculas orgánicas útiles como nuevos agentes surfactantes. *DSPACE*. 2014, July. 2024, July. <http://hdl.handle.net/10261/123091>.
33. A. Rosatella, S. Simeonov, R. Frade and C. Alfonso, 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) as a building block platform: Biological properties, synthesis and synthetic applications, february, 2011. <https://doi.org/10.1039/C0GC00401D>.
34. M. González, S. Pérez, A. Wong, R. Bello, G. Yañez, Residuos agroindustriales con potencial para la producción de metano mediante la digestión anaerobia, *Volume 47, Issue 3, July–September 2015, Pages 229-235*. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2015.05.003>.
35. Oliva, C., Y.; Lopetry, M.; González S., E.; Pedraza, G., J. Posibilidades técnico-económicas de producir bioetanol de caña considerando el uso de residuos lignocelulósicos. *Congreso Internacional de los Derivados de la Caña de Azúcar. Diversificación 2004*, Ciudad Habana, junio, 2004. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223123848002.pdf>
36. Moreno Ayala, L., & Cadillo Castro, J. (2018). Uso del estiércol porcino sólido como abono orgánico en el cultivo del maíz chala. *Anales Científicos*, 79(2), 415-419. <https://doi.org/10.21704/ac.v79i2.914>

37. Bernal Patiño, L. E. y Suárez Ramírez, L. S. (2018) Diseño conceptual de un biodigestor a partir de estiércol vacuno y avícola, producido en la finca El Guarumal, para la obtención de biogás (Trabajo de grado). Fundación Universidad de América. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.11839/6844>