

GENERACIÓN DE BIOENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS: EN BASE A UNA REVISIÓN ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

GENERATION OF BIOENERGY FROM MUNICIPAL SOLID WASTE: BASED ON A DESCRIPTIVE STATISTICAL REVIEW

Diego Ivan Cajamarca Carrazco^{1*}, María Magdalena Paredes Godoy², Edwin Rogelio Guanga Casco³, Jorge Washington Carrasco Barrionuevo⁴, Bryan Rogelio Vaca Barahona⁵

{diego.cajamarca@esPOCH.edu.ec¹, maparedes@unach.edu.ec², edwin.guanga@esPOCH.edu.ec³, jorge.carrasco@esPOCH.edu.ec⁴, bvaca@eersa.com.ec⁵}

Fecha de recepción: 22 de mayo de 2024

/ Fecha de aceptación: 21 de junio de 2024

/ Fecha de publicación: 14 de julio de 2024

RESUMEN: El documento científico proporciona un análisis estadístico descriptivo de sucesos predeterminados bibliográficos de la digestión microbiana sin presencia de oxígeno, en la cual los microorganismos descomponen la materia orgánica en biogás. Para reducir la problemática de la contaminación ambiental que ocasiona la producción de residuos sólidos urbanos en la actualidad, adicional proporciona un conocimiento de los modelos de energía limpia basados en diferentes tipos de biodigestores funcionales, haciendo hincapié en los beneficios ambientales y de resiliencia en la producción de biogás. Acota la conceptualización necesaria para entender la temática de contaminación ambiental causada por una gestión inadecuada de los residuos sólidos urbanos y el potencial de estos para generar energía limpia de bajo impacto ambiental. Por lo cual el objetivo radica en una revisión descriptiva de la generación de bioenergía a partir de la gestión integral de los residuos orgánicos urbanos. El documento explica el proceso de digestión anaerobia, que convierte los residuos generados en las urbes en biogás, una fuente de energía alternativa rica en metano y dióxido de carbono. También analiza los distintos tipos de biodigestores y su selección en función de los residuos. Se completa con figuras para aclarar la composición del biogás, el concepto de biomasa, el proceso y las etapas de la digestión anaerobia, los tipos de fermentación anaerobia, los tipos de biodigestores y las partes de un biodigestor. Ya en la parte final concluye con una amplia bibliografía especializada para lecturas complementarias.

Palabras clave: *Biogás, biomasa, biodigestores, residuos sólidos urbanos, estadístico descriptivo*

¹Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, <https://orcid.org/0000-0001-6619-0490>

²Universidad Nacional de Chimborazo, <https://orcid.org/0000-0002-8211-0400>

³Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, <https://orcid.org/0000-0003-0147-3363>

⁴Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, <https://orcid.org/0009-0001-7663-4179>

⁵Empresa Eléctrica de Riobamba, <https://orcid.org/0000-0001-8565-0341>

ABSTRACT: The scientific paper provides a descriptive statistical analysis of bibliographic predetermined events of microbial digestion without the presence of oxygen, in which microorganisms decompose organic matter into biogas. To reduce the problem of environmental pollution caused by the production of municipal solid waste at present, additional provides an understanding of clean energy models based on different types of functional biodigesters, emphasizing the environmental and resilience benefits of biogas production. It also provides the conceptualization necessary to understand the issue of environmental pollution caused by inadequate management of municipal solid waste and the potential of these to generate clean energy with low environmental impact. Therefore, the objective is a descriptive review of the generation of bioenergy from the integral management of urban organic waste. The document explains the process of anaerobic digestion, which converts waste generated in cities into biogas, an alternative energy source rich in methane and carbon dioxide. It also analyzes the different types of biodigesters and their selection according to the waste. It is completed with figures to clarify the composition of biogas, the concept of biomass, the process and stages of anaerobic digestion, the types of anaerobic fermentation, the types of biodigesters and the parts of a biodigester. The final part concludes with an extensive specialized bibliography for further reading.

Keywords: *Biogas, biomass, biodigesters, municipal solid waste, municipal solid waste, descriptive statistics*

INTRODUCCIÓN

El aumento por la sensibilización del cuidado ambiental ha motivado la indagación de innovadoras fuentes de producción de energías renovables no contaminantes y de baja emisión de gases de efecto invernadero (GEI) (1), consecuentemente los residuos sólidos urbanos compromete una alternativa tecnológica verde viable para la producción de bioenergía (2), caso particular el biogás es producida por digestión anaeróbica sin presencia de oxígeno y varía de acuerdo a su composición de biomasa, este compuesto principalmente contiene: dióxido de carbono (CO₂), metano (NH₄), y pequeñas cantidades de gases traza que son eliminando a la atmosfera (3).

Por otro lado los biodigestores son grandes fuentes de reciclaje de biomasa para la generación de energía limpia de bajo impacto ambiental, a partir de desechos orgánicos producidos por la agricultura, y los residuos orgánicos sólidos domiciliarios (4). Según (5) los residuos sólidos urbanos (RSU) se producen a un ritmo alarmante y su eliminación es una preocupación en la actualidad, ya que la Producción Per Capital promedio es de 0,79 kg/día de huella por persona.

Los RSU, son recurso económicamente viables para elaborar combustibles alternativos a través de diversas vías de conversión de residuos en energía.(6) por lo que el avance en la investigación de bioenergía sostenible representa un enfoque ambientalmente sostenible y en equilibrio con los procesos generativos de la naturaleza que ha mostrado ser efectivo en la reutilización de los

RSU, transformándolos en fuentes energéticas clave para promover el objetivo 7 de la agenda del nuevo milenio 2030, producción de energía asequible y no contaminante (5).

Para los investigadores (7) el enfoque de producción de energía alternativa no tradicional se dirige hacia una circularidad de desechos provenientes del sector agroindustrial, agrícola, industrial, forestal y doméstico ya que la funcionalidad como materia prima para la producción de energía dispone de ventajas competitivas entre las que podemos citar las siguientes: reutilización, baja emisión de gases de efecto invernadero, y por su puesto de diversificación energética.(6).

Por lo tanto, esta investigación bibliográfica tiene como propósito presentar la producción alternativa de producción de biogás a partir de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos, sus beneficios tecnológicos en la producción de bioenergías, así como conceptualizaciones, producción y aspectos ambientales, el objetivo se logra mediante el análisis descriptivo de sucesos así como de datos obtenidos de las principales repositorios especializadas que permitan discernir la producción de energía alternativa no contaminante.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los residuos orgánicos municipales son los protagonistas de este estudio bibliométrico en la que se aplicó una serie de procedimiento documentales como: revisiones técnicas, análisis de datos especializados, identificación de preguntas de investigación científica en relación con el tema de estudio y niveles de criticidad documental. La investigación es de carácter descriptivo, ya que describe el potencial de la producción de bioenergía a partir del biodigestor asociando el aprovechamiento de la gestión eficiente de los residuos orgánicos urbanos.

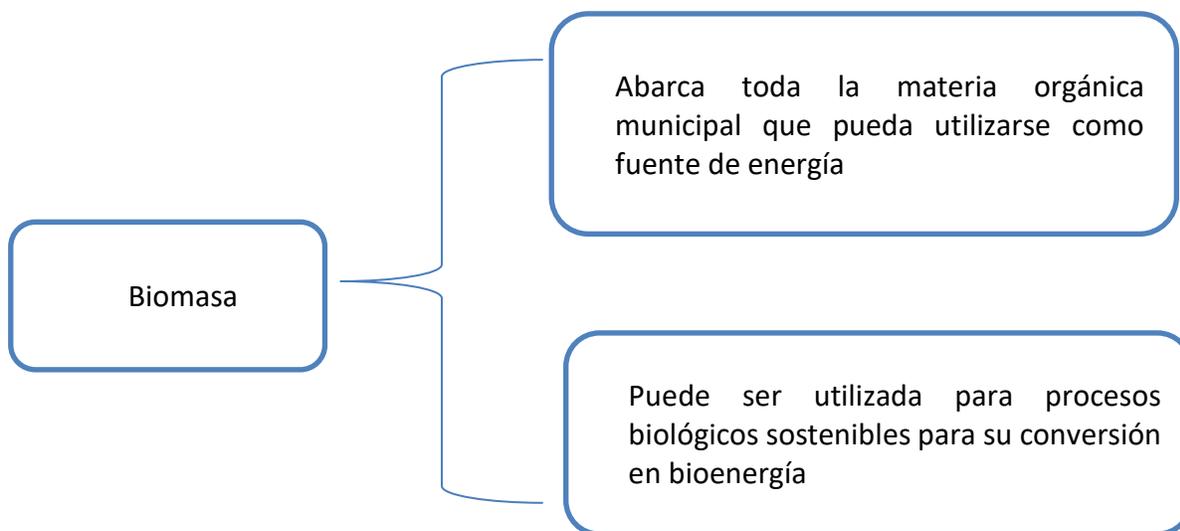
El estudio analiza la conceptualización, la importancia y los obstáculos de la generación de bioenergía a partir de los residuos orgánicos municipales. Adopta un enfoque investigativo a través de una revisión crítica y sistemática, esta metodología tiene como objetivo examinar la producción de energía verde de bajo impacto ambiental a partir de la gestión integral de residuos orgánicos.

Por otra parte, la revisión académica utilizada se basa en fuentes bibliográficas documentales utilizando las palabras clave, “gestión ambiental”, “residuos orgánicos urbanos”, “bioenergía”, “biogás”, permitiendo al equipo investigador analizar y evaluar eficientemente el desarrollo y la utilización de esta bioenergía con un enfoque integral de la gestión de RSU, así como sus desafíos y potenciales aprovechamientos en temas de producción energética.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Generación de residuos: La energía producida a partir de la biomasa es un tema estudiado desde hace una década ya que se ha constituido en una pieza clave en el desarrollo industrial de una nación, consecuentemente en la Figura 1, se conceptualiza este térmico ambiental.

Por otro lado, la problemática de la contaminación ambiental provocada por la falta de integración de la tecnología para el manejo de los residuos sólidos urbanos ha llevado a la búsqueda de soluciones adecuadas que en ocasiones se encuentran cerca de los actores involucrados, (7). Para,(8), la generación de desechos domésticos en la actualidad es una situación preocupante para la sociedad y el ambiente, por lo que se pretende enfocar la utilización de biomasa urbanos para generar bioenergía (5).



*Figura 1: Concepto del término biomasa
Fuente: (9)*

De acuerdo con (10), el aumento en la demanda global de energía limpia, la dependencia de energías tradicionales y los problemas ambientales asociados, incentivan la realización de investigación de sobre la producción de bioenergías no contaminante y amigables con el ambiente (11).Por lo que, la utilización de energías limpias se han incrementado en todo el mundo a partir de la revolución industrial, tecnológica y del conocimiento.

Por otra parte, las materias primas no renovables como el petróleo, carbón y el gas natural, que representan entre el 75 % y el 85 % del consumo total no han permitido el desarrollo de esta bio tecnología alternativa, debido a la dependencia de reservas de combustibles fósiles naturales, por tal razón, se ve en la necesidad de investigar nuevas fuentes de combustibles alternativos a corto o mediano plazo, esto incluye combustibles biodegradables o biocombustibles. (12) para mejorar la viabilidad económica, el ambiente y el propio sistema productivo, es fundamental considerar el aprovechamiento de los desechos orgánicos producidos en las ciudades para disponer de una autonomía energética local. (8).

Los biodigestores son conocidos principalmente por producir biogás (Figura 2), que se puede utilizar en los procesos eco consumistas de la población actual. En tal virtud el acceso a una reciente fuente de energía renovable y local, producida por el propio productor de generación de residuos urbanos, amplía sus posibilidades de empleo y mejorar su eficiencia en la gestión integral

de energía, de esta manera los biodigestores pueden aumentar la eficiencia energética al producir biogás y aumentar la cantidad de energía alternativa que puede ser utilizada para la generación de alimentos, calefacción, entretenimiento entre otras utilidades de la vida diaria moderna de los últimos años (13).

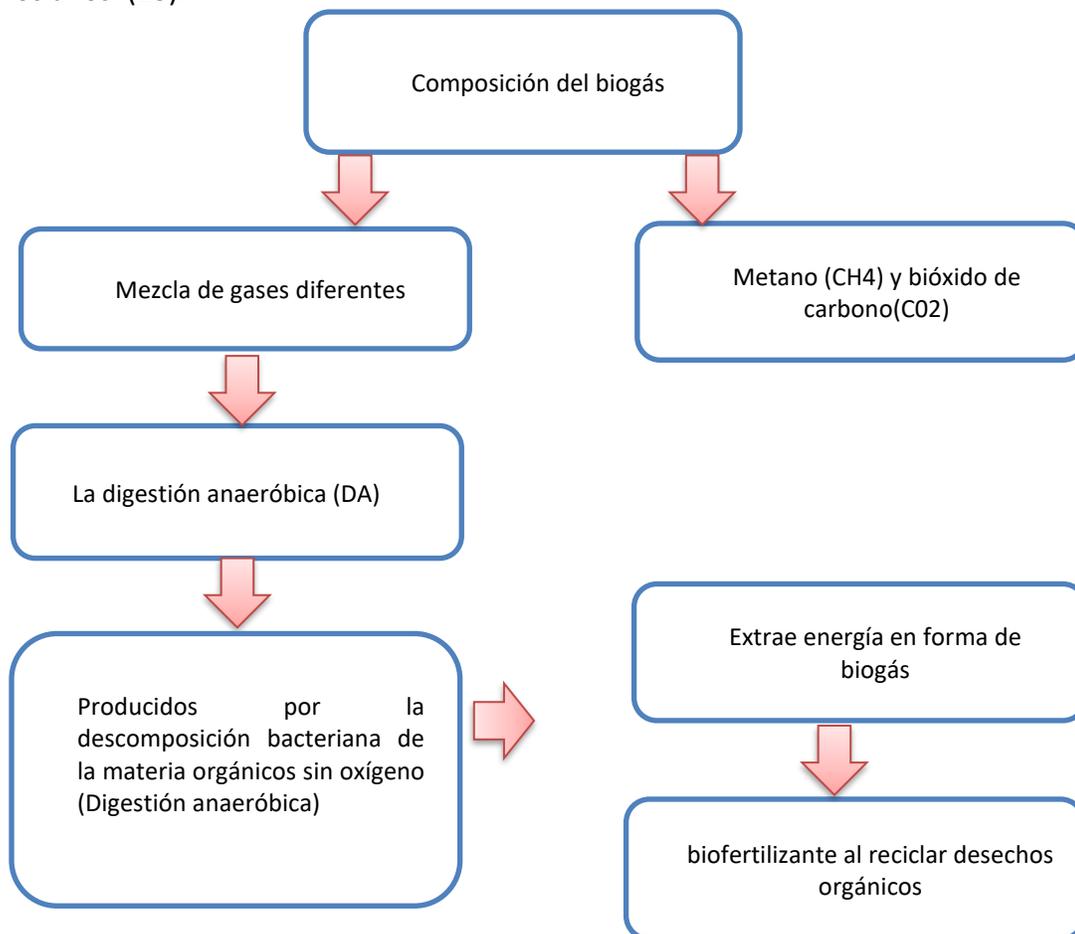


Figura 2: Composición del biogás
Fuente: (14)

Digestión anaerobia: Según (15), describe que es un proceso biológico en ausencia de oxígeno, que tiene lugar a través de cuatro etapas sucesivas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, como se explica en la (figura 3), en la cual interviene un grupo heterogéneo de microorganismos, que se encuentra en los RSU convirtiéndola en biogás, con un alto contenido de metano (CH_4) (50% - 70%) Y dióxido de carbono (CO_2) (30% - 50%), seguidos con los gases de menor proporción como el vapor de agua, dióxido de nitrógeno (NO_2), monóxido de carbono (CO), amoníaco (NH_3) compuestos de azufre caso particular el sulfuro de hidrógeno (H_2S) y ácidos propiónico, butílico, valérico y demás, que se forman durante el proceso de descomposición de la materia orgánica producto de los residuos sólidos urbanos.

Asimismo debido a su alta capacidad calorífica (alrededor de 5.700 Kcal/m³) se lo utiliza en quemadores, turbinas, calderas, etc., el biogás se considera una fuente de energía secundaria de bajo impacto ambiental y alto impacto social (16), adicional el desecho final estabilizado sólido, posee una alta tasa de destrucción de microorganismos patógenos, por lo que es apto para ser utilizado como mejorador del recurso edáfico agrícola. La digestión anaerobia puede evitar la contaminación y recuperar energía de manera sostenible, lo que resulta en un buen balance energético (17).

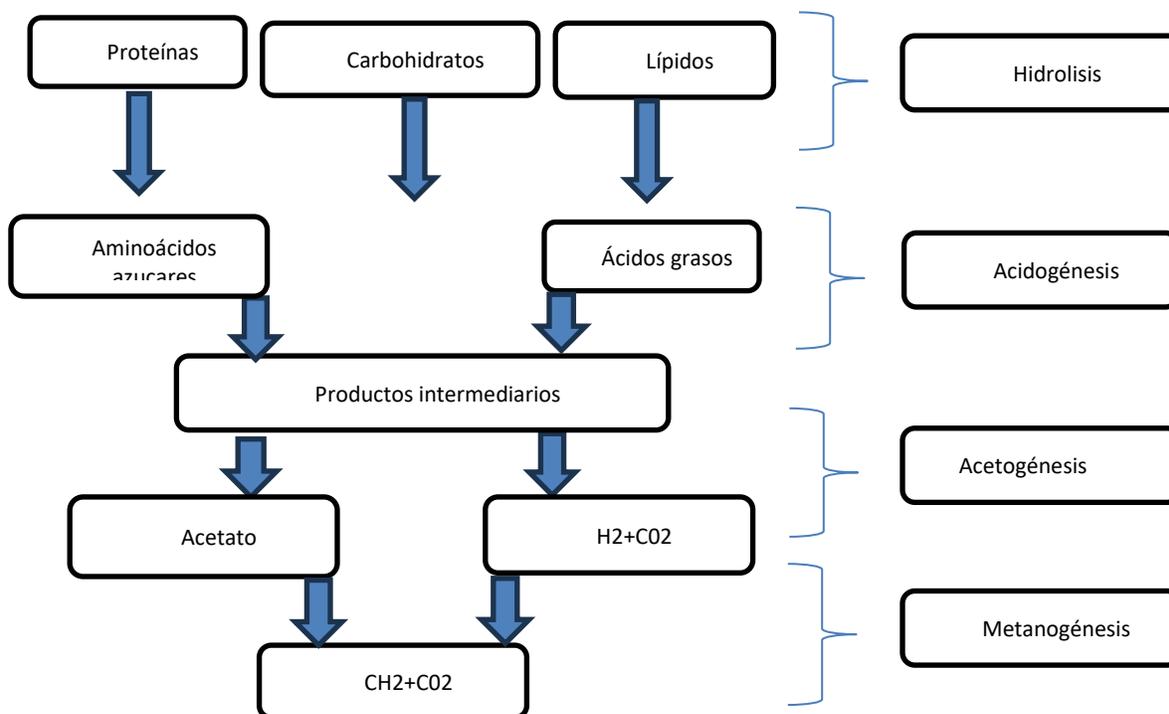


Figura 3: Proceso de digestión anaeróbica
Fuente: (18)

Por otro lado, un biodigestor consta de varias partes que trabajan en conjunto para llevar a cabo el proceso de digestión anaeróbica, como la cámara central que se encarga de mantener el tiempo de retención ideal de materia sin oxígeno; sistema de almacenamiento lo cual permite almacenar el biogás generado, para su consumo gradual.

Tubería de conducción, lo que permite el biogás fluya a través de la tubería hacia un sistema de almacenamiento; conducto de carga por donde circula el sustrato, es recomendable establecer un conducción recta; conducto de descarga, el biofertilizante circula por el sistema de tuberías, lo que se coloca en una altura adecuada permita que se descargue; por ultimo tenemos el tanque de descarga, donde se produce un biofertilizante para la utilización de abono en plantaciones (20).

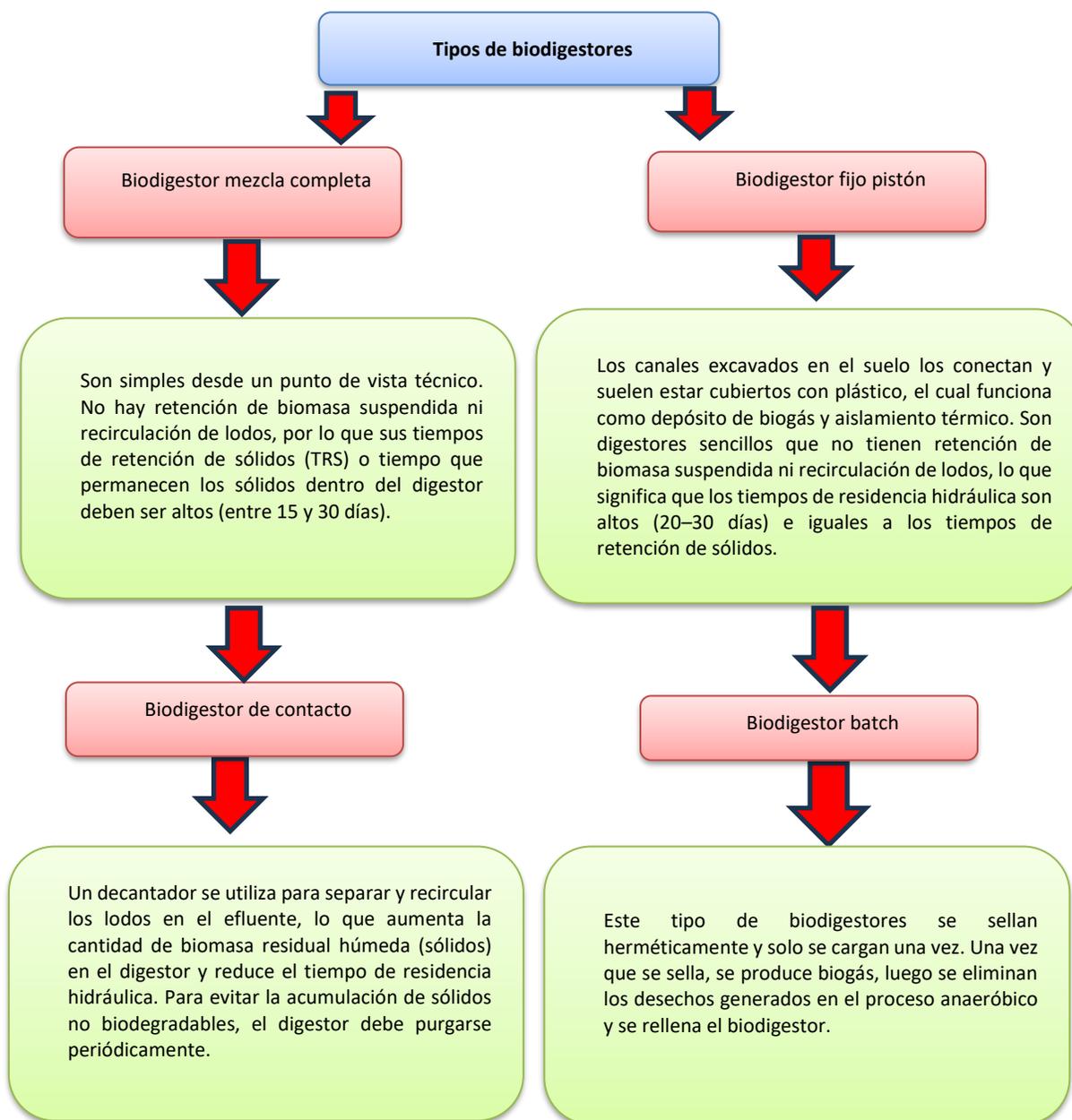


Figura 4: Tipos de biodigestores

Fuente: (19)

CONCLUSIONES

Es crucial subrayar que la producción de bioenergía mediante la gestión completa de los desechos sólidos urbanos necesita una planificación precisa y el uso de tecnologías eficaces. Asimismo, es importante impulsar la reducción inicial de los residuos y promover el reciclaje junto con otras

formas de aprovechamiento de desechos, con el fin de optimizar la utilización de los recursos y disminuir los efectos en el medio ambiente.

La utilización de residuos sólidos urbanos para generar bioenergía representa una opción promisoriosa actual para transformar desechos en una fuente renovable de energía alternativa y de bajo impacto ambiental. Se requiere la implementación de tecnologías eficaces y la promoción de prácticas que reduzcan y valoren los residuos para optimizar los beneficios de esta estrategia.

La aplicación sistemática del análisis estadístico descriptivo mejorará la transferencia del conocimiento en temas relacionados con la sostenibilidad ambiental, la producción de bioenergía, la viabilidad de la generación de biocombustibles a partir de los residuos sólidos urbanos, como también contribuye al desarrollo de tecnologías innovadoras y responsables en el sector energético y ecológico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Faraldo F, Byrne P. A Review of Energy-Efficient Technologies and Decarbonating Solutions for Process Heat in the Food Industry. *Energies*. enero de 2024;17(12):3051.
2. Sihlangu E, Luseba D, Regnier T, Magama P, Chiyanzu I, Nephawe KA. Investigating Methane, Carbon Dioxide, Ammonia, and Hydrogen Sulphide Content in Agricultural Waste during Biogas Production. *Sustainability*. enero de 2024;16(12):5145.
3. Nwokolo N, Mukumba P, Obileke K, Enebe M. Waste to Energy: A Focus on the Impact of Substrate Type in Biogas Production. *Processes*. octubre de 2020;8(10):1224.
4. Paulino EJ, Cherri AC, Soler EM. Suitability model and optimal location of biodigesters in the state of São Paulo. *Energy Rep*. 1 de junio de 2024;11:4726-40.
5. Aidonojje PA, Ukhurebor KE, Oaihimore IE, Ngonso BF, Egielewa PE, Akinsehinde BO, et al. Bioenergy revamping and complimenting the global environmental legal framework on the reduction of waste materials: A facile review. *Heliyon*. 1 de enero de 2023;9(1):e12860.
6. Nanda S, Berruti F. A technical review of bioenergy and resource recovery from municipal solid waste. *J Hazard Mater*. 5 de febrero de 2021;403:123970.
7. Andrade A, Restrepo A, Tibaquirá JE, Andrade A, Restrepo A, Tibaquirá JE. Estimación de biogás de relleno sanitario, caso de estudio: Colombia. *Entre Cienc E Ing*. junio de 2018;12(23):40-7.
8. Galvez L, Isai Y. Scribd. 2017 [citado 13 de junio de 2024]. Produccion de Biogas A Partir Del Estiercol de Ganado Vacuno y Gallinaza Durante El Proceso de Digestion Anaerobia A Escala de Laboratorio | Download Free PDF | Biogás | Digestión anaeróbica. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/379357764/Produccion-de-Biogas-a-Partir-Del-Estiercol-de-Ganado-Vacuno-y-Gallinaza-Durante-El-Proceso-de-Digestion-Anaerobia-a-Escala-de-Laboratorio>
9. Bernal L, Suárez L. Lumieres - Repositorio institucional Universidad de América: Diseño conceptual de un biodigestor a partir de estiércol vacuno y avícola, producido en la finca El Guarumal, para la obtención de biogás [Internet]. 2018 [citado 13 de junio de 2024]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/6844>

10. Durazno Coronel AD. Valoración de estiércol bovino y porcino en la producción de biogás en un biodigestor de producción por etapas [Internet] [bachelorThesis]. 2018 [citado 13 de junio de 2024]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15445>
11. Sánchez M, Fiallo D. El biodigestor como medida ecológica para la generación de gas en las empresas de cría de animales | Revista Científica FIPCAEC (Fomento de la investigación y publicación científico-técnica multidisciplinaria). ISSN : 2588-090X . Polo de Capacitación, Investigación y Publicación (POCAIP). Polo de Capacitación, Investigación y Publicación (POCAIP). 2020;5(16):39-57.
12. Gonzabay Valdiviezo AW, Suárez Monroy PM. Diseño y construcción de un biodigestor anaeróbica vertical semicontinua para la obtención de gas metano y biol apartir de las cáscaras de naranja y mango. octubre de 2016 [citado 13 de junio de 2024]; Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13392>
13. Martí Herrero JE. Biodigestores Tubulares: Guía de diseño y Manual de instalación [Internet]. 2019 [citado 13 de junio de 2024]. Disponible en: http://repositorio.ikiam.edu.ec/jspui/handle/RD_IKIAM/351
14. Lackey J, Champagne P, Peppley B. Use of wastewater treatment plant biogas for the operation of Solid Oxide Fuel Cells (SOFCs). J Environ Manage. 1 de diciembre de 2017;203:753-9.
15. Meegoda JN, Li B, Patel K, Wang LB. A Review of the Processes, Parameters, and Optimization of Anaerobic Digestion. Int J Environ Res Public Health. octubre de 2018;15(10):2224.
16. Millan A. Tema: “Estudio técnico sobre biodigestores anaeróbicos, aplicado al tratamiento de la fracción orgánica de los residuos municipales”. Universidad de Cantabria; 2018.
17. Reyes A. Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos | Revista Científica Estelí. Revista científica de FAREM-Estelí. 2017;(24):60-81.
18. Cusi Sacansela JE. Diseño, construcción de un sistema de producción de energía eléctrica para la generación de 800 W a través del uso de biogás, para una pequeña granja y análisis energético del sistema [Internet] [bachelorThesis]. Quito, 2018.; 2018 [citado 13 de junio de 2024]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19808>
19. Carreras N. Tipos de digestores, selección en función del residuo en Energía de la Biomasa [Internet]. 2024 [citado 13 de junio de 2024]. Disponible en: <http://documenta.ciemat.es/handle/123456789/2613>
20. Páez Malquin ID, Guerra Acosta SA. Diseño y construcción de un biodigestor doméstico para producir biogás. [Internet] [bachelorThesis]. Quito: EPN, 2022.; 2022 [citado 13 de junio de 2024]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23503>