

Propuesta de gestión integral de residuos sólidos en el departamento de San Salvador

Proposal for integrated solid waste management in the department of San Salvador

Mario José Lucero Culi

Universidad Católica de El Salvador

[ORCID: 0000-0001-8049-0641](https://orcid.org/0000-0001-8049-0641)

Resumen:

El foco de la investigación fue realizar una propuesta de gestión de residuos en el área urbana del departamento de San Salvador, la proyección de residuos para 2044 sería de 2,057 T/d. La recolección de residuos puede dividirse en tres bolsas plásticas, verde para reciclables, café para materia orgánica y gris para rechazos, obteniendo: 699 T/d, 1,193 T/d y 165 T/d respectivamente. La materia orgánica tratada por digestión anaerobia puede generar 644 t/d de digestato, transformado en 161 T/d, de compost, y entre 25,263 a 37,363 m³ de biogás, lo que puede generar entre 113.1 a 129.7 MW. Los rechazos tratados por incineración pueden generar 9.6 MW de electricidad. La gestión de residuos sólidos aplicada en tres fracciones permite aprovechar el potencial de cada componente presente en los residuos sólidos.

Palabras clave: gestión integral de residuos sólidos, digestión anaerobia, compostaje

Abstract:

The focus of this research is to develop a waste management proposal for the urban area of the department of San Salvador. Waste is projected to reach 2,057 tons per day by 2044. Waste collection can be divided into three categories: green for recyclables, brown for organic matter, and gray for non-recyclable materials, yielding 699 T/d, 1,193 T/d, and 165 T/d, respectively. Organic matter treated through anaerobic digestion can generate 644 T/d of digestate, which can be transformed into 161 T/d of compost, and between 25,263 and 37,363 m³ of biogas, potentially generating between 113.1 and 129.7 MW. Non-recyclable materials treated by incineration can generate 9.6 MW of electricity. Solid waste management, applied in three fractions, allows for the utilization of the potential of each component present in the solid waste..

Keywords: integral solid waste management, anaerobic digestion, composting

Introducción

La gestión de residuos sólidos en El Salvador se basa en la Ley de Gestión Integral de Residuos y Fomento al Reciclaje (Decreto N.º 527, 2019), la cual establece la siguiente jerarquía: prevención o reducción, reutilización, reciclaje o valorización total, eliminación o disposición final. El objetivo de la investigación es realizar una propuesta de gestión de residuos que priorice la valorización energética o tratamiento de los mismos y a su vez minimice la utilización de rellenos sanitarios. La valorización o tratamiento son líneas de gestión que permiten extraer el potencial energético de los residuos, entre las cuales se tiene la incineración o la digestión anaerobia. Algunas tecnologías de procesamiento de residuos se describen a continuación: DICOM es un sistema con reactor discontinuo secuencial capaz de proporcionar una combinación de compostaje en recipiente y digestión anaerobia. (Walker *et al.*, 2012). El proceso BTA comprende un proceso de biológico anaerobio de tres fases: acidificación, hidrólisis y metanización (Kübler *et al.*, 1994). El proceso DRANCO es un sistema de compostaje anaerobio seco, el cual consiste en un reactor vertical alimentado por la parte superior, el cual no tiene mezcla interna (Kothari *et al.*, 2014). El sistema KOMPOGAS consta de reactor horizontal con sistema de agitación trabajando con sólidos entre 23% y 28%, con un tiempo de retención de sólidos de 15 a 20 días (Okopi *et al.*, 2024). El proceso SEBAC consiste en un reactor de lotes secuenciado de compostaje anaerobio con reactores verticales con alimentación de residuos en bolsas de malla, operando a 55 °C por 21 a 42 días (Chynoweth *et al.*, 1991). El sistema VALORGA opera en temperatura 40 °C en fase mesofílica de flujo pistón, con alta cantidad de sólidos en etapa única; el reactor funciona de forma vertical y posee una estructura cilíndrica (Laclos *et al.*, 1997). Para estabilizar el digestato se puede aplicar compostaje a través de la tecnología Biocell con tiempos de retención total de 76 días, el tratamiento anaerobio es implementado a través de 2 tanques primarios de digestión en paralelo y un tanque secundario de digestión (Cesaro *et al.*, 2015).

Metodología

La metodología se basa en lo planteado por Lucero *et al.*, (2025). El área de estudio es el departamento de San Salvador, considerando la población del área urbana. Los datos de partida serán los de último censo de residuos sólidos del año 2006, proyectados en base a modelos de crecimiento poblacional, fundamentados en la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Las etapas de la investigación fueron: 1. Búsqueda de información y estadísticas de generación de residuos en base de datos de instituciones. 2. Contextualización de la investigación y su fundamento en la legislación pertinente. 3. Elaboración de propuesta de gestión de residuos sólidos considerando los flujos de residuos. 4. En base a diversos tipos de tecnologías se estimaron los productos con dichas tecnologías.

Resultados

La población para el departamento de San Salvador se obtuvo en base a los anuarios estadísticos de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillado (2015, 2016, 2017, 2022) y se proyectó utilizando el método aritmético y geométrico. La producción de residuos sólidos se basó en el último censo de residuos sólidos del año 2006 en el cual se establece la Producción Per-Cápita (PPC) en 0.9 Kg/Hab. d para el departamento de San Salvador. La población al año 2044 se estimó en 1,890,775 habitantes en base al método aritmético. Para la PPC de acuerdo a Jaramillo (2002) esta crece anualmente entre un 0.5% a un 1% de forma geométrica por lo que se estima en 1.09 Kg/hab. d, por tanto, la generación de residuos para el año 2044 sería de 2,057 t/d. Leiva (2002), plantea que la composición de los residuos se divide de la siguiente forma: 58% materia orgánica, Papel 19%, plástico 11%, vidrio 2%, aluminio 2% (reciclables 34%) y otros 8%; por lo cual a derivar la gestión de residuos se pueden agrupar en tres categorías: materia orgánica, reciclables y rechazos. De las 2,057 t/d aplicando la división anterior de obtiene: Material reciclable: 699 t/d., rechazos: 165 t/d y materia orgánica 1,193 t/d.

Figura 1

Proyección de crecimiento poblacional

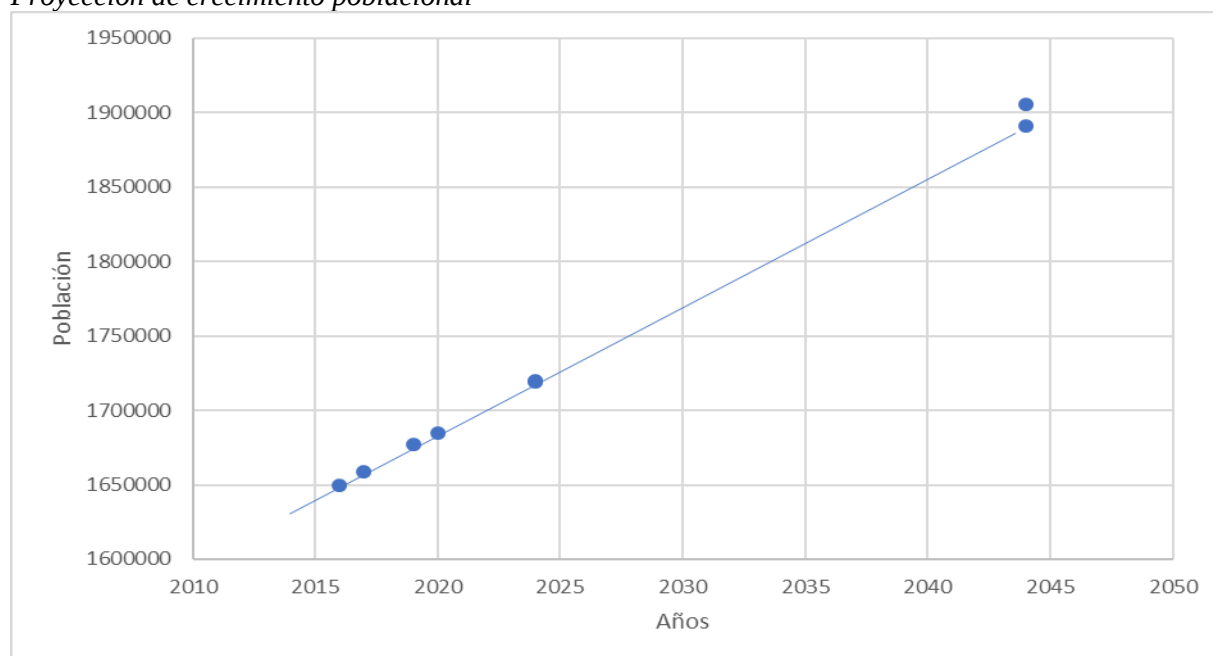


Figura 2

Propuesta de Gestión integral de residuos aplicada en San Salvador

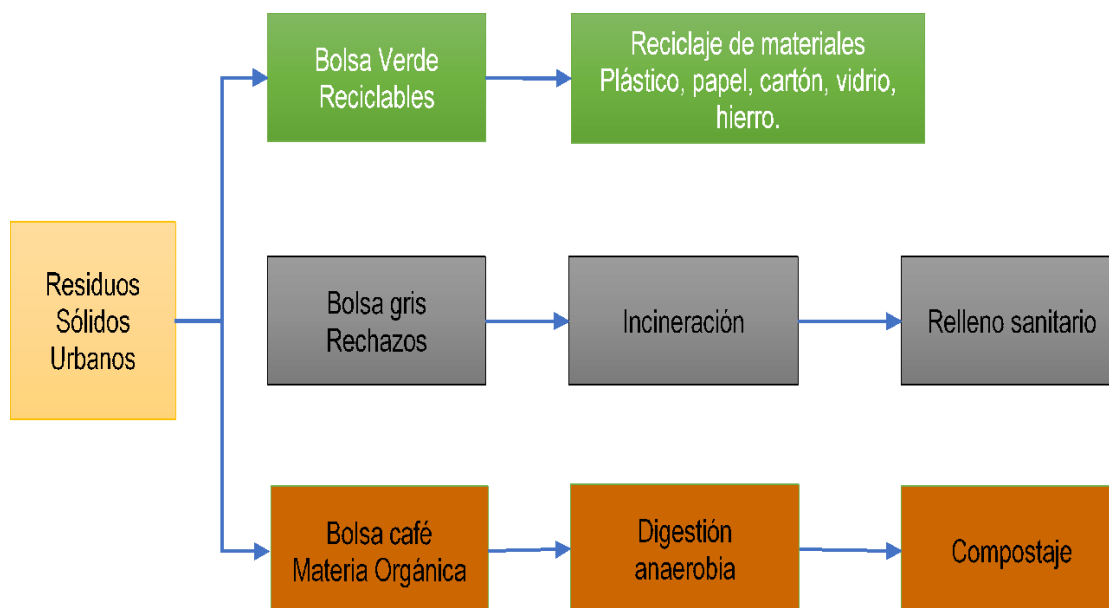
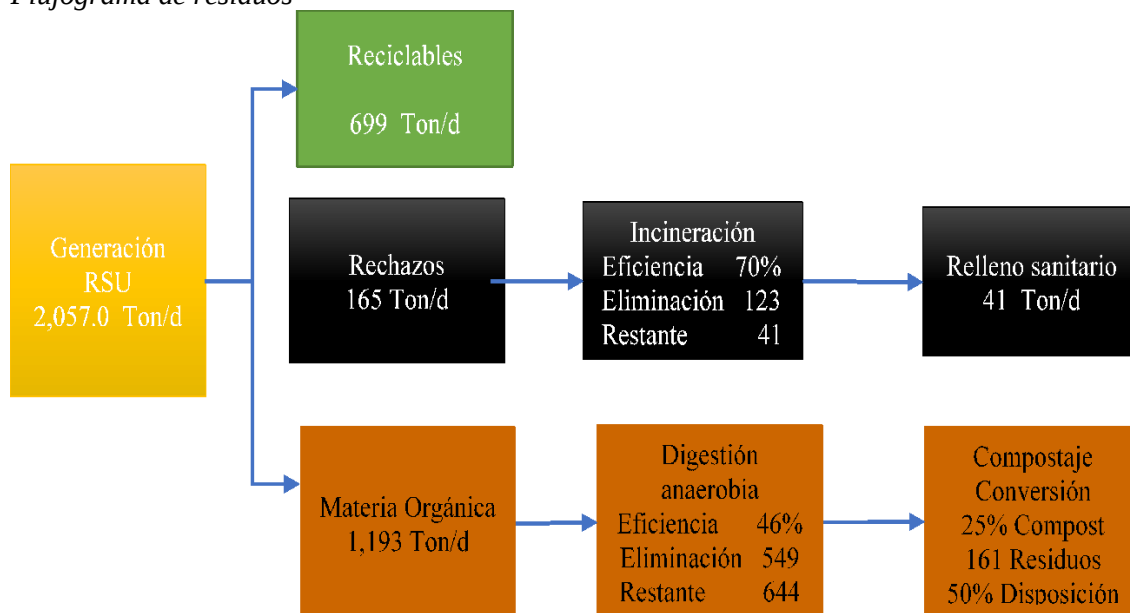


Figura 3

Flujograma de residuos



Al separar los residuos reciclables se pueden procesar con una mejor calidad para reaprovechar los materiales y hacer con ellos nuevos productos que disminuyan en uso de recursos naturales nuevos. La materia orgánica se puede aplicar el proceso de digestión anaerobia para generar biogás y al digestato se puede aplicar compostaje, al aplicar digestión anaerobia con una eficiencia del 46% se eliminan 549 t/d y resta 644 t/d denominado digestato. La aplicación de la digestión anaerobia en residuos sólidos se puede realizar a través de diversas tecnologías, las cuáles poseen un potencial de generación de biogás entre 25,263 a 37,363 m³ de biogás, lo que a su vez puede generar entre 113.1 a 129.7 MW de electricidad. El digestato producto de la digestión, de no ser estabilizado en el proceso, puede aplicarse un compostaje aerobio o anaerobio. El proceso denominado BIOCELL se puede convertir entorno de 161 t/d de compost, en un tiempo de 97 días, con una eficiencia del 25%, y un residuo entorno de un 50%. Los rechazos pueden ser tratados por incineración con una eficiencia del 70% se elimina 123 t/d, restando 41 t/d en cenizas. El proceso de incineración posee un potencial de generación de electricidad de 9.6 MW utilizando los resultados de Tissot (2014).

Conclusiones

La materia orgánica se puede aplicar el proceso de digestión anaerobia se generan 644 t/d de digestato con un potencial de generación de biogás entre 25,263 a 37,363 m³ de biogás, lo que a su vez puede generar entre 113.1 a 129.7 MW de electricidad. El digestato producto de la digestión puede aplicarse un compostaje aerobio, en el cual se puede convertir entorno de 161 t/d de compost, en un tiempo de 97 días, con una eficiencia del 25%, se elimina un 25% y un residuo entorno de un 50%, lo cual se dispone en relleno sanitario.

Referencias

- Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados. (2015). *Boletín Estadístico 2015*.
<https://www.anda.gob.sv/index.php/logros-y-memorias-2/#>
- Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados. (2016). *Boletín Estadístico 2016*.
<https://www.anda.gob.sv/index.php/logros-y-memorias-2/#>
- Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados. (2017). *Boletín Estadístico 2017*.
<https://www.anda.gob.sv/index.php/logros-y-memorias-2/#>
- Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados. (2022). *Boletín Estadístico 2020*.
<https://www.anda.gob.sv/index.php/logros-y-memorias-2/#>
- Cesaro, A., Russo, L., & Belgiorno, V. (2015). Combined anaerobic / aerobic treatment of OFMSW : Performance evaluation using mass balances. *Chemical Engineering Journal*, 267(2015), 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.12.110>

- Chynoweth, D. P., Bosch, G., Earle, J. F. K., Legrand, R., & Liu, K. (1991). A novel process for anaerobic composting of municipal solid waste. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 28–29(1), 421–432. <https://doi.org/10.1007/BF02922622>
- Jaramillo, J. (2002). Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales: una solución para la disposición final de residuos sólidos municipales en pequeñas poblaciones. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Organización Panamericana de la Salud <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sial-sialpuno/archivos/public/docs/324.pdf>
- Kothari, R., Pandey, A. K., Kumar, S., Tyagi, V. V., & Tyagi, S. K. (2014). Different aspects of dry anaerobic digestion for bio-energy: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 174–195. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.011>
- Kübler, H. and Schertler, C. (1994). 3-phase anaerobic digestion of organic wastes. *Water Science and Technology*, 30(12), 367–374. <https://doi.org/10.2166/wst.1994.0636>
- Laclos, H., Desbois, S., & Saint-Joly, C. (1997). Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste: valorga full-scale plant in Tilburg, the Netherlands . *Water Science & Technology*, 36(6–7), 457–462. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(97\)00555-6](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(97)00555-6)
- Leiva, C. (2002). *Consideraciones Generales Sobre la Gestión de Residuos Sólidos en El Salvador*. UFG Editores. <http://hdl.handle.net/11592/8350>
- Lucero, M. J. (2025). Propuesta de estrategias de gestión de residuos sólidos en la ciudad de Santa Ana, El Salvador. *Revista Científica de Ingenierías y Arquitectura*, 4(1), 59–72. <https://doi.org/10.56643/rcia.v4i1.185>
- Okopi, S., Li, Y., & Xu, F. (2024). Biomass Digestion. En M. A. Abraham (Ed.), *Encyclopedia of Sustainable Technologies* (2a ed., pp. 236–251). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90386-8.00051-6>
- Ley de gestión integral de residuos y fomento al reciclaje. (2019, 21 de enero). Decreto Legislativo N° 527. *Diario Oficial* N,º 31, Tomo 422. Asamblea de la República de El Salvador <https://bibliotecaambiental.ambiente.gob.sv/documentos/decreto-no-527-ley-de-gestion-integral-de-residuos-y-fomento-al-reciclaje/>
- Tissot, M. (2014). *Recuperação energética de resíduos por meio de combustível derivado de resíduo - CDR conferência waste to energy 2014*. In *Conferência waste to energy 2014*. <https://docplayer.com.br/13878384-Viabilidade-ambiental-e-economica-da-recuperacao-energetica-de-residuos-por-meio-de-combustivel-derivado-de-residuo-cdr.html>
- Walker, L., Cord-Ruwisch, R., & Sciberras, S. (2012). Performance of a commercial-scale DiCOM™ demonstration facility treating mixed municipal solid waste in comparison with laboratory-scale data. *Bioresource Technology*, 126, 404–411. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.12.079>