

Propuesta de estrategias de gestión de residuos sólidos en la ciudad de Santa Ana, el Salvador

Proposal for solid waste management strategies in the city of Santa Ana, el Salvador

Mario Jose Lucero Culi¹
DOI: 10.56643/rcia.v4i1.185

Como citar este artículo: Lucero Culi, 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. DOI: <https://doi.org/10.56643/rcia.v4i1.185>

Resumen

Según las proyecciones de población realizadas, en 2023 la ciudad de Santa Ana contaba con una población de 398,351 habitantes, cuya Producción Per-Cápita (pcp) de residuos, alcanzaba 1.10 Kg. hab/d. Se estima que en 2040 la ciudad tendrá 454,734 habitantes, con una pcp de 1.3 Kg. hab/d. El objetivo de esta investigación es determinar las estrategias de gestión de residuos más adecuadas a través de la Gestión Integral de Residuos, que prioriza el tratamiento de los mismos antes de realizar su disposición. Para determinar dichas estrategias, se emplearon estimaciones de generación y eficiencias de diversos tratamientos aplicados y recogidos en publicaciones indexadas a los residuos producidos. La estrategia de gestión sugerida establece que de las 592.41 T/d, 201.39 T/d deben ser recicladas; 343.54 T/d corresponden a materia orgánica que, tras ser tratada por digestión anaerobia, generan 185.51 T/d de un residuo conocido como digestato; éste puede ser aplicado al compostaje, produciendo 46.38 T/d de compost. La digestión anaerobia puede generar alrededor de 36.8 MW de electricidad en promedio. Así, la estrategia de gestión sugerida permite aprovechar los residuos, ya sea en reciclaje o en generación de energía, utilizando el biogás producido por la digestión anaerobia mediante la incineración.

Palabras Clave: Gestión de Residuos Sólidos, Digestión Anaerobia, Compostaje, Incineración, Energía renovable.

Abstract

According to population projections, the city of Santa Ana holds 398,351 inhabitants in 2023, with a Per-Capita Production of 1.10 Kg. inhabitant/d. By the year 2040, it is estimated that there will be 454,734 inhabitants with a PCP of 1.3 kg per person/d. The objective of the research is to determine waste management strategies through Comprehensive Waste Management that prioritizes treatment before disposal. The determination methodology was based on the use of estimates of generation and efficiencies of a certain treatment applied to the waste produced, obtained from indexed publications. The suggested management strategy establishes that the 592.41 T/d, 201.39 T/d should be recycled; 343.54 T/d is organic matter that can be treated by anaerobic digestion generating 185.51 T/d of waste known as digestate; subsequently, composting can be applied generating 46.38 T/d of compost.

¹Profesor, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Católica de El Salvador. <https://orcid.org/0000-0001-8049-0641> Correo electrónico: mario.lucero@catolica.edu.sv
Recibido: 04/11/2024 | Aceptado: 17/02/2025 | Publicado: 15/06/2025
Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés. La investigación fue financiada con recursos de los autores.

Anaerobic digestion can generate around 36.8 MW of electricity on average. Therefore, it is concluded that the stipulated management strategy allows the waste to be used either in recycling or in energy generation using biogas from anaerobic digestion and through incineration. **Keywords:** Solid Waste Management, Anaerobic Digestion, Composting, Incineration.

Introducción

La ciudad de Santa Ana se encuentra ubicada en el occidente de la República de El Salvador, en América Central, a una altura de 665 msnm. Su superficie abarca 408 kilómetros cuadrados. La gestión de residuos en esta ciudad se estableció en la Ley de Medio Ambiente, aprobada en 1998 (Asamblea Legislativa de la República de El Salvador, 2019) e incluye el Reglamento para la Gestión Integral de Residuos Sólidos (República de El Salvador, 2000). Desde esa fecha comenzó a cambiar la forma de disposición de los residuos; hasta ese momento, ésta se realizaba en su totalidad, 100%, en botaderos a cielo abierto. En 2006, 19% de los municipios realizaba su disposición de residuos en rellenos sanitarios (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2006). En 2019, 100% de los residuos se depositó en los 19 rellenos sanitarios existentes en El Salvador (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2021).

La gestión de residuos en la ciudad se realiza mediante la recolección de los mismos en conjunto; luego, éstos son trasladados al relleno sanitario, donde existe un plan para su separación. Allí se los separa en dos fracciones, lo aprovechable energéticamente para coprocesamiento de cemento y lo no aprovechable. Sin embargo, cuando los residuos son separados en dos fracciones, no se aprovecha totalmente el potencial presente en ellos, ya que el material que podría reciclarse se envía a incineración y la materia orgánica se envía al relleno sanitario.

Esto impide aprovechar el potencial de generación de metano mediante digestión anaerobia, como también del compost, que puede ser usado como abono orgánico. Su uso podría reducir considerablemente la cantidad de residuos que llegan al relleno sanitario, beneficiando a quienes viven en zonas aledañas al mismo. El objetivo de esta investigación es determinar una estrategia de gestión integral basada en flujos de residuos destinados a cada etapa, que considere el tratamiento biológico de la materia orgánica y el tratamiento térmico de los rechazos. Los rechazos lo componen residuos que no pueden ser aprovechados de forma biológica o térmica. A medida que pase el tiempo, la generación de residuos seguirá incrementándose, por lo que la aplicación de una estrategia de este tipo promoverá la reutilización y valorización. A medida que pase el tiempo, la generación de residuos seguirá incrementándose, por lo que la aplicación de una estrategia de este tipo promoverá la reutilización y valorización. La presente investigación se justifica en que, para tener ciudades sostenibles, es importante adecuar la gestión de residuos, de manera de minimizar su impacto en el medio ambiente y en la salud de la población. Esto es de gran importancia debido, debido a los problemas derivados de la gestión de residuos, lo cual genera alternativas viables ambientalmente, al generar subproductos beneficiosos, como es el biogás y el compost, así mismo la capacidad de generación de energía.

La figura 1 muestra la estrategia de gestión de residuos sólidos empleada en la ciudad de Santa Ana. Los residuos generados por las viviendas son recolectados por los camiones compactadores de residuos. En la entrada al relleno sanitario son separados en dos fracciones, una de residuos combustibles y otra de residuos no combustibles. Los primeros son enviados a una cementera para su coprocesamiento en la producción de Clinker. El material no combustible se destina al relleno sanitario.

Dicha estrategia de gestión permite aprovechar el poder calorífico de los residuos; a pesar de ello, se pierde materia prima que podría ser reciclada para la elaboración de nuevos productos. Por otra parte, cuando la materia orgánica termina en el relleno sanitario, no puede ser utilizada para producir metano, gas cuyo poder calorífico es adecuado para generar electricidad.

Figura 1. Estrategia de gestión actual para la ciudad de Santa Ana



La estrategia de gestión de residuos sólidos fue establecida en la Ley de Gestión Integral y Fomento al Reciclaje, que estipula siguiente jerarquía: prevención o reducción, reutilización, reciclaje o valorización y eliminación o disposición final (Asamblea Legislativa de la República de El Salvador, 2019). Algunas alternativas de valorización o tratamiento de los residuos son la digestión anaerobia, el compostaje y la incineración, entre otros.

La digestión anaerobia es un proceso de aprovechamiento de la materia orgánica que utiliza microorganismos anaerobios cuya acción metabólica genera biogás. El biogás está formado principalmente por CO₂ y CH₄ (metano) (Plugge, 2017); el metano es uno de los gases que posee mayor poder de efecto invernadero (gei) (Howarth et al., 2011), siendo 22 más contaminante que el CO₂, por lo que su utilización es importante para el medio ambiente; puede ser utilizado para generar vapor o electricidad.

Algunas tecnologías de digestión anaerobia son las siguientes: proceso dicom, bta, dranco, Kompogas, sebac y Valorga. El proceso dicom comprende el compostaje aerobio y la digestión anaerobia en fase termofílica (Walker et al., 2012). El proceso bta consiste en un pretratamiento hidromecánico y un reactor anaerobio (Hartman y Ahring 2006). El proceso dranco, compostaje anaerobio seco, implica el uso de un reactor vertical anaerobio termofílico (Kothari et al., 2014). El proceso Kompogas se compone de un reactor horizontal termofílico con agitador para mezcla de los residuos (Chynoweth, et al., 1991). El sistema sebac, compostaje anaerobio secuencial en lotes, consiste en tres reactores anaerobios en secuencia (Forster-Carneiro et al., 2004; Chynoweth et al., 1991).

La literatura sobre el tema presente en publicaciones indexadas muestra que las tecnologías escogidas dan lugar a la generación de biogás, razón por la cual fueron seleccionadas. No obstante, también podrían funcionar otras tecnologías; sin embargo, al momento de realizar la investigación, no se contaba con información sobre las mismas recopilada en fuentes indexadas.

La tecnología dicom combina el proceso de compostaje aerobio con la digestión anaerobia termofílica utilizando la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales en un reactor de alta tasa de sólidos (Walker et al., 2012). La tecnología bta emplea un pretratamiento de pulverización del residuo y remoción de aquel no biodegradable. Las etapas del proceso incluyen la acidificación, hidrólisis y metanización por vía anaerobia (Kubler et al., 1994).

El sistema dranco, conversión anaerobia seca, permite la conversión en energía y humus; el proceso consta de una etapa de reducción de tamaño y separación de las diferentes fracciones; luego se lleva a cabo la fermentación para la digestión y por último la deshidratación en una prensa de tornillo (Six et al., 1992). El sistema sebac, compostaje anaerobio secuencial en lotes, se desarrolla en tres etapas: primero, la trituración; luego se digiere en el reactor húmedo por medio de lixiviado y la tercera etapa permite la conversión completa del residuo. (Chynoweth et al., 1991).

El sistema Kompogas involucra un reactor de mezcla completa de eje horizontal. Primero se realiza el pretratamiento para separar los componentes no biodegradables, posteriormente, pasa al digestor para el proceso de digestión anaerobia. El gas extraído es utilizado para generar calor y energía. Luego el residuo, se lleva a cabo la deshidratación y, por último, tiene lugar una etapa de maduración (Wellinger et al., 1997). El sistema Valorga posee un digestor mesofílico semicontinuo de alta tasa de flujo pistón en etapa única. Implica la realización de un pretratamiento con tamices rotatorios, separación manual y separación magnética; el biogás se purifica y el digestato se deshidrata mediante un filtro prensa y se estabiliza en condiciones aerobias (Laclos et al., 1997).

En el campo del compostaje existen diversas tecnologías consolidadas, pero pocas han sido probadas para el uso con digestato. Se optó por considerar la tecnología Biocell para ejemplificar el proceso. Biocell opera con un reactor rectangular mesofílico en lotes con presión y tiempo de detención de 21 días. Dicha tecnología supone el uso de un pretratamiento para separar lo orgánico de lo inorgánico; luego, para desarrollar el proceso, se emplean los digestores; posteriormente se deshidrata y se estabiliza los residuos (Ten, 2000).

Metodología

El área de estudio es la ciudad de Santa Ana, en El Salvador. En ella residía un estimado de 250,318 habitantes en 2023. En esta ciudad se realiza el proceso de separación de residuos antes de su entrada al relleno sanitario. Los materiales con poder calorífico importante son destinados al proceso de cogeneración para producción de cemento, mientras que el resto se envía al relleno sanitario. Desde 1998, El Salvador cuenta con la Ley de Medio Ambiente de la cual surgió el reglamento especial para el Manejo Integral de Desechos Sólidos. En 2019 se creó de Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos y Fomento al Reciclaje. Las fuentes principales de información son: censos de población de El Salvador, pronósticos poblacionales realizados por el Banco Central de Reserva, estadísticas de gestión de residuos del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales y estadísticas de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados. Para los cálculos de crecimiento poblacional y producción per-cápita, los datos se analizarán utilizando el software Statgraphics.

Las etapas de la investigación son las siguientes:

1. Proyección del crecimiento poblacional El crecimiento poblacional se hará utilizando una progresión por los métodos aritmético y geométrico, que dan lugar a las ecuaciones 1 y 2, respectivamente.

(Ecuación 1)

Donde:

Pf: Población futura

Po: Población actual

K: Tasa de crecimiento aritmética

T: Tiempo

(Ecuación 2)

Donde:

Pf: Población futura

Po: Población actual

i: Tasa de crecimiento geométrica

n: Tiempo

Luego, con los datos históricos de Producción Pér-Capita (ppc), se determinará la ppc a futuro, con el objetivo de conocer a cuánto ascenderá la generación de residuos más adelante, de manera de englobar la problemática actual y lo que sucederá cuando la generación de residuos aumente como consecuencia del incremento de la población.

2. Propuesta de líneas de gestión integral de residuos

Para la elaboración de la propuesta, se consideró el objetivo de determinar cuáles son las etapas que involucra el desarrollo de un plan de gestión integral de residuo que priorice el reciclaje y el tratamiento biológico de la materia orgánica, así como el tratamiento térmico de los residuos.

3. Estimación del potencial de generación de biogás por digestión anaerobia y de generación de compost mediante el proceso Biocell.

En esta etapa se estimaron los productos de la digestión con base en coeficientes teóricos encontrados en la literatura. Para ello, se siguieron los pasos que se detallan a continuación:

Obtención de eficiencias de generación y porcentajes de eliminación reportados en investigaciones publicadas en bases de datos indexadas, adoptando las tecnologías dicom, bta, dranco, Kompogas, sebac y Valorga.

Cálculos de productos a obtener, tanto de biogás como de digestato en la digestión anaerobia, basado en las eficiencias y porcentajes reportados por las investigaciones previas con las diversas tecnologías antes mencionadas.

Estimado de generación eléctrica a partir del biogás.

Cálculos para estimar el compost a obtener en la etapa de compostaje utilizando el sistema Biocell.

4. Estimación de potencial de generación de electricidad utilizando incineración de residuos a partir de los rechazos

Obtención de eficiencias de generación y porcentajes de eliminación reportados en investigaciones publicadas en bases de datos indexadas.

Cálculos de potencial energético de los residuos.

Estimación del potencial de generación eléctrica a partir de los rechazos.

Resultados

1. Proyección del crecimiento poblacional y producción per-cápita de la ciudad de Santa Ana

En la tabla 1 se recoge el crecimiento poblacional de la ciudad de Santa Ana y en la figura 2 la tendencia que mostrará su crecimiento. A partir de estos datos se determinó la población futura al año de análisis.

Figura 2. Crecimiento poblacional

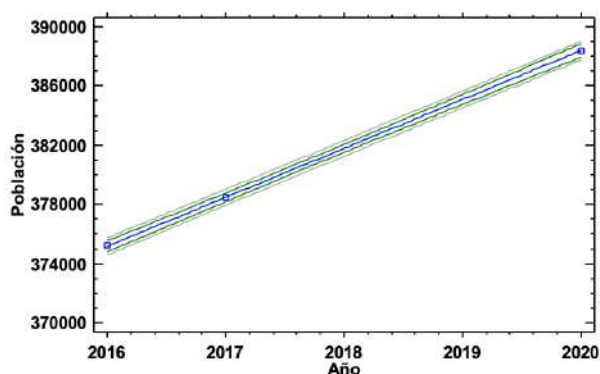


Tabla 1. Población urbana de Santa Ana, años 2016, 2017 y 2020

Año	Población urbana
2016	375,196
2017	374,759
2020	388,401

Fuente: Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (2016, 2017 y 2022).

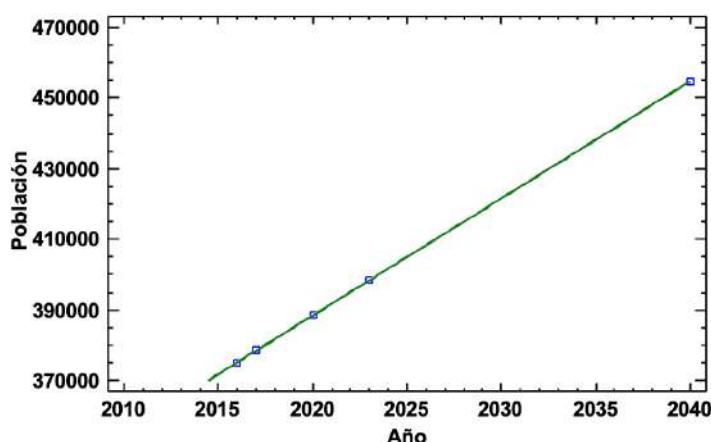
Aplicando las ecuaciones 1 y 2 a los datos históricos se obtienen los datos mostrados en la tabla 2.

Tabla 2. Proyecciones de crecimiento poblacional

Año	Población	Aritmético	Geométrico
2016	375,196		
2017	378,451		
2020	388,401		
2023		398,351	398,613
2040		454,734	461,762

Con base en los datos de población presentados en la tabla 2, el modelo de crecimiento que más se ajusta a la tendencia presentada por los datos históricos es el método aritmético, lo cual se muestra en la figura 3.

Figura 3. Crecimiento poblacional



La Producción Per-Cápita (ppc) para la ciudad de Santa Ana fue 1.01 Kg/Hab en 2006. Para estimar la ppc a futuro, se utilizó la metodología de Jaramillo (2002), estimando un crecimiento de 0.5% anual empleando la ecuación 2 de crecimiento geométrico. Los resultados de la ppc a futuro se muestran en la tabla 3. La cantidad de residuos que se generarán en 2040 será de: 592.31 Ton/d.

Tabla 3. Crecimiento ppc

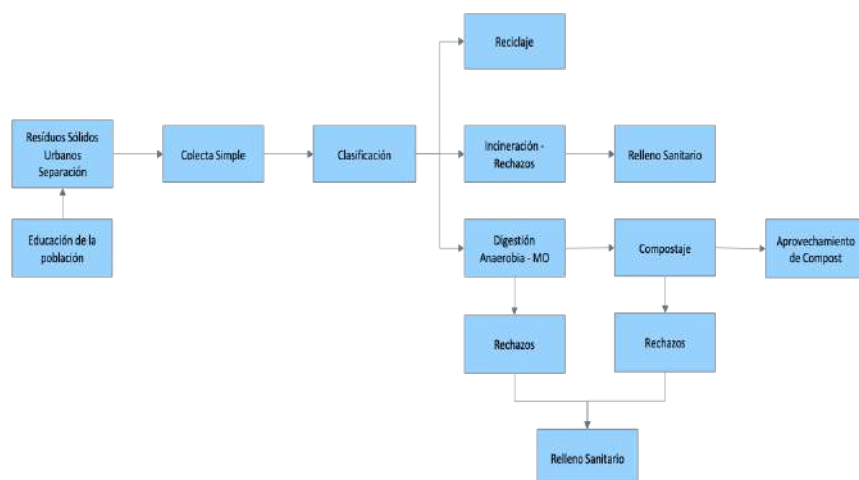
Año	PPC
2006	1.01
2023	1.10
2040	1.30

2. Propuesta de estrategia de gestión de residuos

La estrategia de gestión de residuos para la ciudad de Santa Ana se presenta en la figura 4 y de forma sintética en la figura 5. En éstas se presenta una alternativa de gestión que propicia el reciclaje de materiales como papel, plástico o cartón, así como la explotación del potencial de generación de metano de la fracción orgánica de los residuos sólidos y del material conocido como rechazo, el cual puede ser aprovechado en la incineración para generar electricidad. La estrategia presentada en la figura 5 plantea separar los residuos en tres fracciones: reciclables en las viviendas, materia orgánica y rechazos, lo cual se identifica con los colores verde, gris y café, respectivamente. En la figura 6 se observan los flujos de residuos con base en la estrategia planteada. La generación de rsu para 2040 se estima en 592.41 T/d. En tanto no existe un estudio de composición gravimétrica para la ciudad, se adoptó la estipulada por Leiva (2002) para la ciudad de San Salvador, determinando 58% para materia orgánica, 34% reciclables y 8% rechazos.

De acuerdo con el flujograma, 343.54 t/d (58%) de rsu corresponden a la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos (forsu), la cual puede ser tratada mediante digestión anaerobia; posteriormente, el digestato puede ser estabilizado por compostaje, eliminando un 25% y convirtiendo 25% en compost (46.38 T/d.), generando, además, un residuo para relleno sanitario de 92.76 T/d. En lo que respecta a los residuos reciclables, éstos ascienden a 201.39 T/d, cuyos diversos tipos de componentes deben ir a reciclaje. En el caso de los rechazos, se generan cerca de 47.38 T/d., que pueden incinerarse dando lugar a 11.85 T/d. a ser utilizadas o disponerse en rellenos sanitarios.

Figura 4. Estrategia de gestión sugerida para la ciudad de Santa Ana



3. Cuantificación de productos obtenidos por los procesos de tratamiento biológico, digestión anaerobia y compostaje

Los residuos orgánicos incluidos en la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (forSU) se pretende la aplicación de digestión anaerobia y luego el digestato para un proceso de compostaje. Algunas metodologías no necesitan la estabilización posterior, como es el caso de los procesos dicom y dranco, entre otros, que ya generan un compost estabilizado. Otros procesos de digestión anaerobio requieren la estabilización posterior para que el compost pueda ser utilizado como mejorador del suelo en la agricultura. En la tabla 1, se presenta el volumen de biogás estimado según los diversos tipos de tecnologías aplicadas a partir de un potencial estimado de acuerdo con los diversos tipos de tecnologías.

Figura 5. Estrategia de gestión sugerida sintética

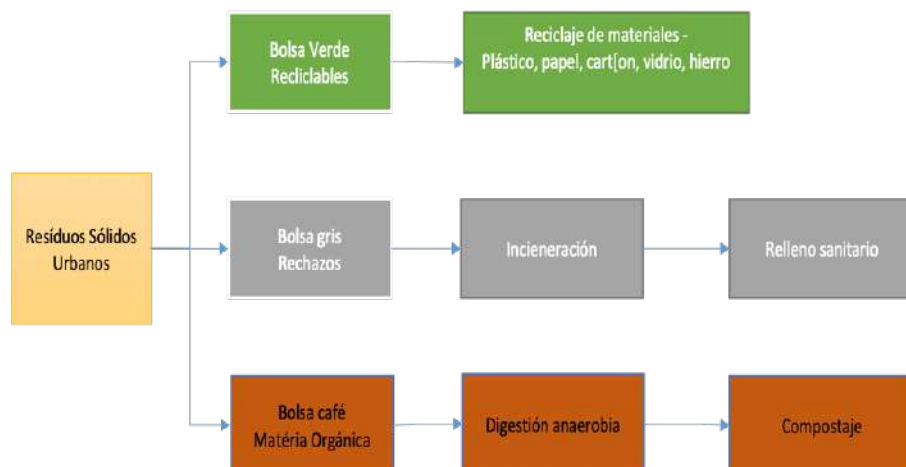
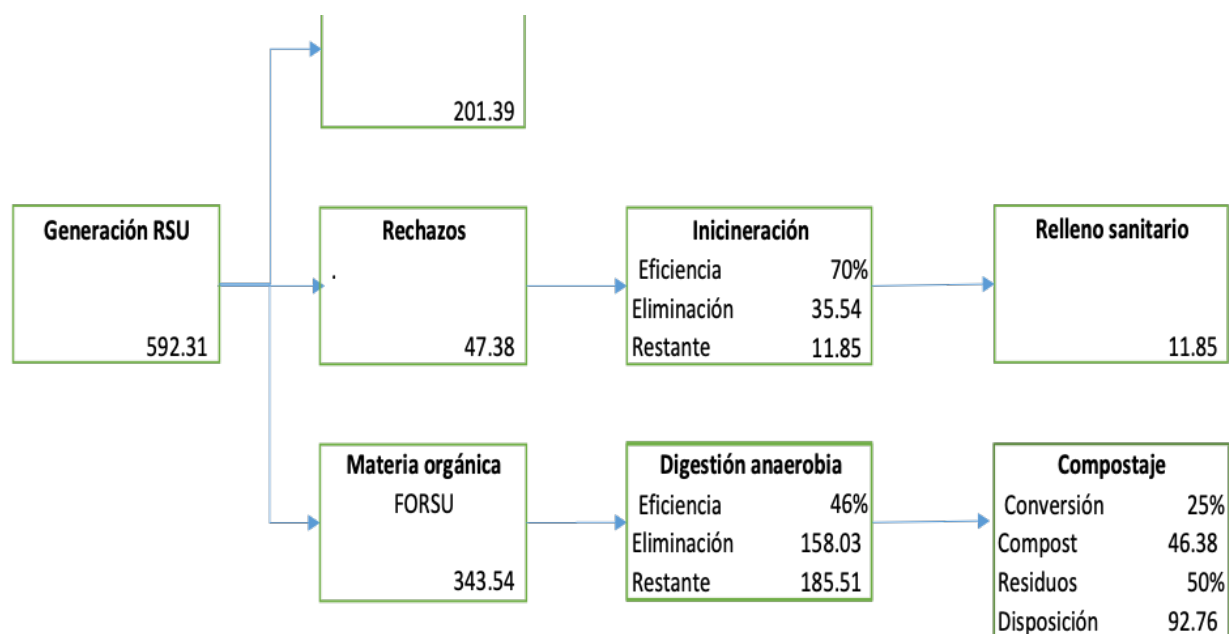


Figura 6. *Flujograma de residuos con base en la estrategia de gestión*



Los tipos de tecnología presentados en la tabla 4, exponiendo datos extraídos de Walker et al. (2012), poseen diferentes capacidades vinculadas a su configuración. Para el cálculo se consideró que los residuos orgánicos poseen 11% de sólidos volátiles (sv) (Lucero, 2017), por lo que aproximadamente 37,789 Kg/d de las 343,539 Kg/d serían sólidos volátiles.

Tabla 4. Estimado de generación de energía eléctrica a partir del biogás

Descripción	Tipo de tecnología						Unidad
	DICOM	BTA	DRANCO	Kompogas	SEBAC	Valorga	
Capacidad	900	3.4	56	200	2.1	3x3 300	
Materia Orgánica	344	344	344	344	344	344	Ton/d
	343539	343,539	343,539	343,539	343,539	343,539	Kg/d
Porcentaje sv	11%	11%	11%	11%	11%	11%	
Cantidad sv	37,789	37,789	37,789	37,789	37,789	37,789	Kg sv/d
Tasa de generación de biogás	0.44	0.39	0.45	0.39	0.34	0.35	m ³ biogás / kg sv
Eficiencia proceso	0.61	0.81	0.81	0.74	0.74	--	
% CH ₄	0.55	0.73	0.73	0.69	0.64	0.55	
TRH	12	12	18	13	21	20	d

Volumen de biogás generado	16,627	14,738	17,005	14,738	12,848	13,226	
Volumen de CH4 generado	9,145	10,759	12,414	10,095	8,223	7,274	
Poder calorífico Biogás	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	kW/m ³
	108,077	95,796	110,534	95,796	83,514	85,971	kw
	108	96	111	96	84	86	MW
Eficiencia estación	34.3%	39%	39%	39%	39%	39%	
	37.1	37.4	43.1	37.4	32.6	33.5	MW

En cuanto a la tasa de generación de metano, cada tecnología muestra una generación de 0.34 a 0.44 metros cúbicos de biogás/Kg sv (Walker et al., 2012). Al multiplicar los sv (37,789 Kg SV) por la tasa de generación para cada tipo de tecnología se constata un potencial de generación de 12,848 a 17,005 metros cúbicos de biogás, de los cuales entre 7,274 a 12,414 metros cúbicos corresponden a gas metano. Considerando un poder calorífico de 6.5 kW/m³ (Cassini, 2003), la generación de electricidad alcanzaría a 84 a 111 MW de energía; si se toma en cuenta la eficiencia del sistema podrían generarse entre 32.6 y 43.1 MW de energía. Esto podría abastecer a unas 4,916 viviendas con la potencia más baja. De acuerdo con Lucero (2016), la ciudad de São Paulo, en Brasil, producía 14,636 t/d en 2014, lo que tenía el potencial de generar entre 54 a 111 MW y de abastecer a 8,151 viviendas.

Algunos procesos dan lugar a compost como material final, que puede ser utilizado en la agricultura. En los procesos en los que el digestato aún necesita estabilización se puede aplicar un compostaje, por ejemplo, el proceso Biocell, un proceso de biooxidación de la materia orgánica. El estimado de generación se presenta en la tabla 5.

Tabla 5. Estimado de generación de compostaje

Tipo reactor	Biocell	Unidad
Generación de digestato	185.51	T/d
	185,511.15	Kg/d
% conversión compost	25%	
Compost	46,377.79	Kg/d
Disposición relleno sanitario	50%	
Disposición relleno sanitario	92,755.58	Kg/d
Tiempo de detención	15-20	d

Fuente: adaptado de Cesaro (2015).

En la etapa anaerobia se generan aproximadamente 185.51 t/d de digestato, de los cuales 25% se convierte en compost, 25% se elimina y 50% se separa para relleno sanitario. Por lo tanto, se generan 46.38 t/d de compost y 92.76 t/d de residuos para relleno sanitario.

4. Cuantificación de productos obtenidos por los procesos de tratamiento térmico por incineración

Tabla 6. Estimado de generación

	Escenario 2	Unidad
Rechazos	47.38	T/d
	47,384.71	Kg/d
Poder calorífico	*2778	Kcal/Kg
Calorías	131,634,733.12	Kcal/d
	5,484,780.55	Kcal/h
1 MW =	859,845.23	Kcal/h
	6.38	MW
Eficiencia	30%	
	1.91	MW
Cenizas	25%	
	11,846.18	Kg/d
	11.85	T/d

Fuente: adaptado de Tissot (2014); Tchobanoglous et al. (1994).

Según el plan de gestión sugerido, el proceso de incineración sólo se aplica a los residuos catalogados como rechazos. Éstos ascienden a 47.38 T/d y generan 1.91 MW de energía y 11.85 T/d de cenizas, como se muestra en la tabla 6. La electricidad producida puede abastecer a 1,913 viviendas. De las 47.38 T/d sólo 11.85 T/d se destinan a relleno sanitario, lo cual reduce en 75% el uso de rellenos.

Conclusiones

La aplicación de la gestión integral de residuos sólidos en la ciudad de Santa Ana reduce los residuos destinados a relleno sanitario en 82% aproximadamente, haciendo llegar a éste sólo cenizas y residuos de composta, lo que permite el aprovechamiento energético de los residuos.

La gestión de residuos separados en tres fracciones hace que éstos puedan ser tratados adecuadamente, haciendo posible recolectar el material reciclable con mejor calidad, favoreciendo su reciclaje y ayudando a mejorar el ciclo de vida de los materiales, lo que previene el uso de nuevas materias primas para desarrollar un nuevo producto.

La materia orgánica puede ser aprovechada para la generación de biogás por el proceso de digestión anaerobia. Su potencial de generación de biogás y, por ende, de electricidad, es de alrededor de 36.8 MW; el material resultante puede aprovecharse como compost, dependiendo del tipo de tecnología utilizada o aplicando el compostaje, lo que genera un valor agregado.

Los rechazos pueden ser aprovechados mediante el proceso de incineración para generar 1.91 MW de electricidad, con capacidad de abastecer a más de 1,913 viviendas.

Referencias

- Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillado (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/#>
- Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (2016). Boletín Estadístico 2016. <https://www.anda.gob.sv/index.php/logros-y-memorias-2/#>
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador (2019). Ley de Gestión Integral de Residuos y Fomento al Reciclaje. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2, 21. <https://cidoc.marn.gob.sv/documentos/decreto-no-527-ley-de-gestion-integral-de-residuos-y-fomento-al-reciclaje/>
- Cassini, S. (2003). Resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás. abes. <http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/ProsabStulio.pdf>
- Cesaro, A., Russo, L., y 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., y 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>
- Forster-Carneiro, T., Fernández, L. A., Pérez, M., Romero, L. I., y Álvarez, C. J. (2004). Optimization of sebac start up phase of municipal solid waste anaerobic digestion. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, 18(4), 429-439.
- 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. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/55275>
- Hartmann, H., y Ahring, B. K. (2006). Strategies for the anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste: An overview. *Water Science and Technology*, 53(8), 7-22. <https://doi.org/10.2166/wst.2006.231>
- Howarth, R. W., Santoro, R., y Ingraffea, A. (2011). Methane and the greenhouse-gas footprint of natural gas from shale formations. *Climatic Change*, 106(4), 679-690. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0061-5>
- Karagiannidis, A., y Perkoulidis, G. (2009). A multi-criteria ranking of different technologies for the anaerobic digestion for energy recovery of the organic fraction of municipal solid wastes. *Bioresource Technology*, 100(8), 2355-2360. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.033>
- Kothari, R., Pandey, A. K., Kumar, S., Tyagi, V. V., y 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., y Schertler, C. (1994). Three-phase anaerobic digestion of organics wastes. *Wat. Sci. Tech.*, 30(12), 367-374. <http://www.iwaponline.com/wst/03012/0367/030120367.pdf>
- Laclos, H., Desbois, S., y Saint-Joly, C. (1997). Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste. *Water Science & Technology*, 36(6-7), 457-462. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(1983\)109:5\(1148\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(1983)109:5(1148))
- Leiva, C. (2002). Consideraciones generales sobre la Gestión de Residuos Sólidos en El Salvador. UFG Editores,. <http://hdl.handle.net/11592/8350>
- Lucero, M., y Contrera, R. C. (2016). Proposta de modificacão do plano de gestão dos resíduos sólidos domiciliares da cidade de São Paulo. marzo 2022. <http://www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/article/view/41>
- Lucero, M., y Contrera, R. C. (2017). Determinação do potencial energético da fração orgânica dos resíduos sólidos produzidos na companhia de entrepostos e armazéns gerais de São Paulo, ceagesp. 8° Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, 8. <http://www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/article/view/41/32>
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2021). Anuario Estadístico 2019. <https://cidoc.ambiente.gob.sv/documentos/anuario-estadistico-2019/>

- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2006). Segundo Censo Nacional De Desechos Sólidos Municipales. <https://cidoc.marn.gob.sv/por-categoria/?cat=informes-nacionales#>
- Plugge, C. M. (2017). Biogás. *Microbial Biotechnology*, 10(5), 1128-1130. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12854>
- República de El Salvador (2000). Reglamento especial sobre el Manejo Integral de los Desechos Sólidos y sus anexos. <https://cidoc.ambiente.gob.sv/documentos/reglamento-especial-sobre-el-manejo-integral-de-los-desechos-solidos-y-sus-anexos/>
- Six, W., y De Baere, L. (1992). Dry anaerobic conversion of municipal solid waste by means of the Dranco process. *Water Science and Technology*, 25(7), 295-300.
- Tchobanoglous, G., Thiesen, H., y Vigil, S. (1994). *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. McGraw-Hill.
- Ten Brummeler, E. (2000). Full scale experience with the BIOCEL process. *Water Science and Technology*, 41(3), 299-304.
- Tissot, M. (2014). Recuperação energética de resíduos por meio de combustível derivado de resíduo - cdr conferência waste to energy 2014. En 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., y Sciberras, S. (2012). Performance of a commercial-scale DiCOM™ demonstration facility treating mixed municipal solid waste in comparison with laboratory-scale data. *Biore-source Technology*, 126, 404-411. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.12.079>
- Wellinger, A., Wyder, K., y Metzler, A. E. (1993). Kompogas - A new system for the anaerobic treatment of source separated waste. *Water Science and Technology*, 27(2), 153-158.

Derechos de Autor© 2025 Lucero Culi, Mario José



Este texto está protegido por una licencia Creative Commons 4.0. Usted es libre para Compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato y adaptar el documento, remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de: Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.