



## Metanización, una alternativa tecnológica para valorización energética de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos en la provincia de Esmeraldas

### Methanization, a technological alternative for energy recovery of the organic fraction of urban solid waste in the province of Esmeraldas

#### Autores

Vladimiro Jijón Solorzano <sup>1\*</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-5315-2820>

Ángel Amado Recio Recio <sup>2</sup>

<https://orcid.org/0000-0001-7043-6449>

Galo René Fernández Díaz <sup>1</sup>

<https://orcid.org/0009-0004-1328-9074>

<sup>1</sup>Universidad Técnica “Luis Vargas Torres”. Esmeraldas, Ecuador.

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial, Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba.

\* Autor para correspondencia.

[jose.jijon@utelvt.edu.ec](mailto:jose.jijon@utelvt.edu.ec)

**Citacion sugerida:** Jijón, V., Recio, A., & Fernández, G. (2023). Metanización, una alternativa tecnológica para valorización energética de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos en la provincia de Esmeraldas. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología. RIEMAT*, 8(2), pp. 38-48. <https://doi.org/10.33936/riemat.v8i2.6405>

Recibido: 19/09/2023

Aceptado: 05/10/2023

Publicado: 20/10/2023

#### Resumen

Uno de los problemas que enfrentan las comunidades humanas frente al crecimiento poblacional y desarrollo industrial, es la generación de diferentes tipos de residuos, denominados residuos sólidos urbanos (RSU). Para elaborar un plan de manejo integral de RSU del Cantón Esmeraldas, se parte de la caracterización de los RSU, lo cual permite diseñar la valoración, del potencial energético y la composición por desagregación. Se persigue que el RSU deje de ser una carga económica para el sector público y genere recursos que ayuden a financiar el costo de la gestión. Con el objetivo de disminuir considerablemente la contaminación que se produce por falta de tratamiento adecuado de los RSU. “Prevenir, controlar y mitigar la contaminación ambiental, como aporte para el mejoramiento de la calidad de vida, continúa siendo sumamente importante para garantizar el derecho humano a vivir en un ambiente sano, pilar fundamental de la sociedad del Buen Vivir”. En un país, caracterizado históricamente por un crecimiento desorganizado y por la persistencia de problemas como la contaminación del aire, la contaminación hídrica, la inadecuada disposición y tratamiento de residuos domiciliarios e industriales, la reducción, el control y la prevención de la contaminación, resultan imprescindibles”. Con esto, se espera que se diseñe un buen Tratamiento Mecánico Biológico de los RSU, con la tecnología de Túneles de Metanización, con un importante beneficio económico y ambiental para el cantón. Palabras clave: Mitigación; parque; urbano; polideportivo; impacto ambiental.

**Palabras clave:** Residuos Sólidos Urbanos; caracterización; metanización; valoración; contaminación.

#### Abstract

One of the problems faced by human communities in the face of population growth and industrial development is the generation of different types of waste, called urban solid waste (RSU). In order to elaborate an integral RSU management plan for the Esmeraldas Canton, it is based on the characterization of RSU which allows designing the valuation, the energy potential and the composition by disaggregation. It is intended that the RSU should no longer be an economic burden for the public sector and generate resources to help finance the cost of management. With the aim of considerably reducing the pollution that is produced by lack of adequate treatment of RSU. “To prevent, control and mitigate environmental pollution, as a contribution to improving the quality of life, remains extremely important to guarantee the human right to live in a healthy environment, a fundamental pillar of society of Good Living”. In a country historically characterized by disorganized growth and the persistence of problems such as air pollution, water pollution, inadequate disposition and treatment of household and industrial waste, pollution reduction, control and prevention, result Must-see. With it, it is expected that a good Biological Mechanical Treatment of RSU will be designed, with the technology of Tunnels of Methanization, with an important economic and environmental benefit for the canton. Keywords: Mitigation; park; urban; sports center; environmental impact.

**Keywords:** Municipal solid waste; characterization; methanization; valuation; contamination.





## 1. Introducción

La creciente prosperidad de la urbanización evidenciada por la sociedad moderna tiende a doblar el volumen anual de los residuos sólidos urbanos en 2025 –pasando de 1,3 billones de toneladas para 2,6 billones de toneladas por año– desafiando la gestión de la salud pública y ambiental en ciudades del mundo (Delamaza et al., 2012), y este es uno de los problemas fundamentales que enfrentan las comunidades humanas frente al crecimiento poblacional y desarrollo industrial, los denominados residuos sólidos urbanos (RSU), se están convirtiendo, desde hace mucho rato, en uno de los problemas más álgidos que afectan el medio ambiente en las ciudades a nivel mundial. Se puede afirmar, sin exagerar, que la producción de RSU crece en forma exponencial, semejante a la curva de crecimiento poblacional. Esto no es un misterio, ya que es el mismo habitante es el que genera, debido a su actividad.

En la actualidad existen multitud de vertederos de residuos sólidos urbanos que albergan en su interior gran cantidad de materia orgánica en proceso de descomposición. Del total de la basura que se genera en Latinoamérica, el 54% se deposita en rellenos sanitarios, siendo esta la técnica ambiental más llevadera, otro 18% de la basura termina en vertederos controlados con lo cual se evita o se trata de controlar los botaderos clandestinos, otro 25% de la basura es llevada a vertederos a cielo abierto con grandes impactos ambientales, y la diferencia de la basura generada, 3%, se la quema a cielo abierto (Sáez y Urdaneta, 2014).

Comprender las dimensiones que envuelven a gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) requiere la comprensión de los fundamentos legales y presupuestos que permitan todas las actividades relacionadas con su manejo, desde su generación hasta la disposición final de los residuos (Cabrera, 2022; Carvajal et al., 2022; Guerra y Cajas, 2022). El manejo de residuos sólidos y la producción de gases efecto invernadero son dos problemas de carácter global y/o local (Castañeda y Rodríguez, 2017), en todas las comunidades del mundo se genera basura, y está particularmente la de tipo orgánico que genera gases de efecto invernadero como producto de su acumulación natural e inevitable descomposición. El biogás en condiciones determinadas puede llegar a ser tóxico y explosivo (Clavero, 2016).

La Constitución de la República del Ecuador, establece los derechos de la naturaleza, contemplados en la sección II Artículo 14 que menciona “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay”, y además “se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados”. En el esquema de la generación de desechos se encuentra la ciudadanía en general, los comercios y las industrias; la generación constituye el primer eslabón de la cadena de valor y puede diferenciarse por el tipo de residuos que genera (Tabla 1).

**Tabla 1**

*Desglose por tipo de residuo.*

Tipos de Residuos	Tm	%
RSO	2504149,70	61,59%
Papel y cartón	341072,20	8,39%
Vidrio	77079,10	1,90%
Plásticos	355516,10	8,74%
Chatarra	139853,70	3,44%
Residuos sólidos no recuperables (RSNR)	648146,70	15,94%
<b>TOTAL</b>	<b>4065817,50</b>	<b>1,00</b>

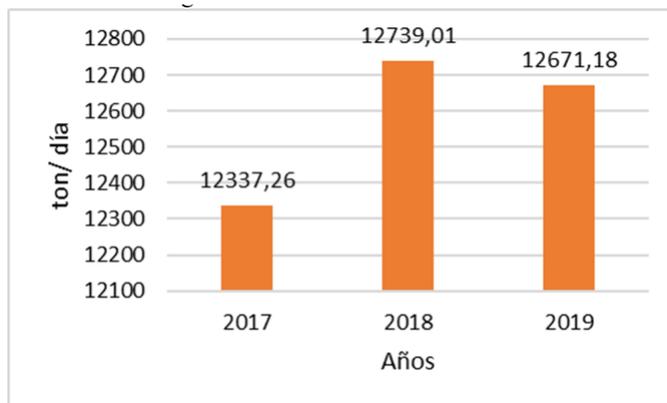
*Fuente: Los autores.*

A partir de la información proporcionada por los GADM (Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales), se pudo determinar que cada habitante de Ecuador, del sector urbano, produce en promedio 0,84 kg diarios de residuos sólidos.

En la figura 1 podemos observar que, en el año 2019, en el Ecuador se recolectaron alrededor de 12.671,18 toneladas de residuos sólidos al día. Del total de residuos sólidos recolectados al día, el 13,5% (1707,25 ton/día) fueron recolectados de manera diferenciada entre residuos orgánicos e inorgánicos desde la fuente, y el 86,5% (10963,93 ton/día) fueron recolectados de manera no diferenciada, como se muestra en la figura 2.

**Figura 1**

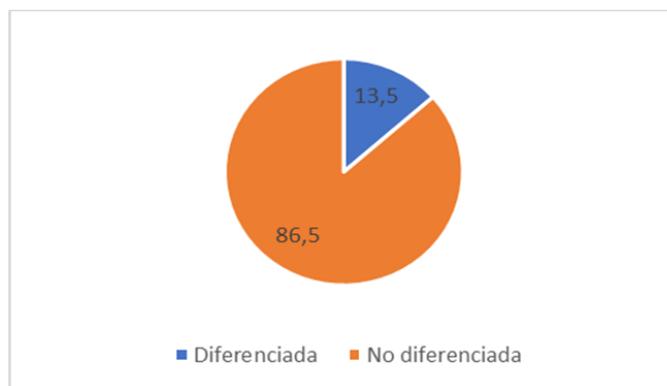
Cantidad de residuos sólidos recolectados al día (ton/ día), 2017-2019.



Fuente: AME-INEC, 2019

**Figura 2**

Residuos sólidos recolectados al día de forma diferenciada y no diferenciada (%), 2019.



Fuente: AME-INEC, 2019

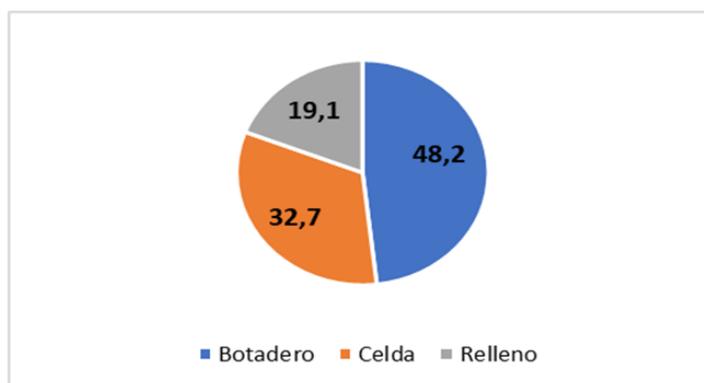
De este 13,5% que representan 1.707,25 toneladas recolectadas al día de forma diferenciada en el Ecuador, el 64,5% son residuos inorgánicos.

En el Ecuador, según información declarada por los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales, el 48,2% disponen sus residuos sólidos en Rellenos Sanitarios, como se muestra en la tabla 1, el 32,7% en celdas emergentes y el 19,1 en botaderos (figura 3). En comparación a años anteriores se puede evidenciar una tendencia a la baja de botaderos y una tendencia al alza de rellenos y celdas emergentes.



**Figura 3**

*Disposición final de los residuos sólidos (%), 2019.*



*Fuente: AME-INEC, 2019*

Las autoridades promueven la introducción de la técnica del relleno sanitario, considerada una técnica ambientalmente adecuada y de bajo costo de inversión.

Sin embargo, lejos de ser una solución a los problemas ambientales está demostrado por estudios realizados y publicados por Environmental Research Foundation, que los rellenos sanitarios tienen fallas que ponen en peligro el medio ambiente y por lo tanto la salud humana, por ejemplo:

Existen varios estudios en el mundo que dan cuenta del impacto que pueden tener los rellenos sanitarios en la salud de la población cercana. He aquí un breve resumen de algunos de ellos:

Residentes a menos de 5km de rellenos sanitarios en seis áreas de la región de Toscana, Italia presentaron excesos de mortalidad por enfermedades cardiovasculares, cerebro vascular, linfoma de tipo no-Hodgkin y por cáncer de hígado y de vejiga, entre 1995-2000. (Pineda y Ramírez, 2017).

En 1995 se publicó un estudio sobre familias que vivían cerca de un importante relleno municipal: The Miron Quarry, en la Ciudad de Montreal, Canadá. Este relleno se utilizó entre 1968 y 1990 y es el tercer relleno más grande de América del Norte.

Allí se encontró una elevada incidencia de cáncer de estómago, hígado, próstata, y pulmón entre los hombres y de útero y cervical entre las mujeres (Itriago et al., 2013).

Un estudio asocia el riesgo de cáncer y asma a personas con viviendas en áreas de rellenos sanitarios en Helsinki, Finlandia. (López et al., 2018)

Todo esto se debe a que, el principal componente de los gases emanados en los rellenos sanitarios es el metano, seguido por el dióxido de carbono. Típicamente, los gases que escapan de un relleno llevarán consigo otras sustancias químicas tóxicas como ser solventes, pesticidas u otros compuestos orgánicos volátiles, por lo general, clorados (Escobar, 2004).

El venteo de los gases producidos también genera problemas de salud. Un estudio realizado por el departamento de salud de Nueva York donde se analizaba la presencia de compuestos orgánicos volátiles en los gases emitidos por 25 rellenos, encontró tetracloroetileno, tricloroetileno, tolueno, 1, 1,1-tricloroetano, benceno, cloruro de vinilo, xileno, etilbenceno, cloruro de metileno, 1,2-dicloroetano y cloroformo (los efectos en la salud de algunos de estos compuestos pueden verse en la Tabla 1) (Escobar, 2004).

Según un informe elaborado por Pacific Energy Systems Inc., 1998, para evaluar técnica y económicamente la instalación de chimeneas para la quema del metano producido en los rellenos del CEAMSE, de ser las concentraciones de los elementos orgánicos volátiles no metánicos de las mismas proporciones que las de Estados Unidos, la basura dispuesta en los rellenos del CEAMSE emitiría 2500 toneladas de estos elementos por año.

El fin del recubrimiento inferior de un relleno sanitario es evitar todo contacto entre los residuos y el suelo y las capas freáticas. Sin embargo, tanto la capa arcillosa como el recubrimiento plástico pueden romperse. La arcilla es vulnerable a los químicos que están presentes en la basura, como el benceno, ya que por difusión puede atravesar una capa arcillosa de 91,4 cm en aproximadamente 5 años. (Escobar, 2004).

La membrana plástica también es vulnerable a sustancias químicas que puedan encontrarse en los residuos urbanos. Por ejemplo, la naftalina degrada el polietileno de alta densidad (PEAD) y otras sustancias no tan nocivas como la margarina, el vinagre o el lustre para zapatos pueden debilitarlo y finalmente romperlo (Escobar, 2004).

De acuerdo a un experimento llevado a cabo en Estados Unidos en 1990, se concluyó que las membranas de última tecnología de PEAD permiten el filtrado de líquidos lixiviados a una velocidad de alrededor de 200 litros por hectárea por día, aún instaladas de acuerdo a los más sofisticados métodos de control, debido a las pequeñas perforaciones producidas durante la construcción (Escobar, 2004).

Otro estudio realizado por la Universidad de Wisconsin en 1991 demuestra que soluciones diluidas de solventes usados comúnmente, como el tolueno, el tricloroetileno, el cloruro de metileno y el xileno, penetran una membrana de 100 mm de espesor de PEAD en menos de dos semanas (Escobar, 2004).

El sistema de recolección de lixiviados también presenta sus problemas. Se ha visto que puede fallar por taparse con barro o fango, por el desarrollo de microorganismos en las cañerías, por reacciones químicas que generarán la precipitación de minerales en los caños o simplemente los caños ya debilitados por acción de los químicos pueden romperse por la presión de toneladas de basura sobre ellos (Escobar, 2004).

También puede generarse contaminación a través de la cubierta protectora, la cual puede ser atacada por la erosión, raíces de árboles, actuación de animales y rayos ultravioletas (Escobar, 2004).

Por último, debido a la acumulación de metano, que forma una mezcla explosiva con el oxígeno presente, suelen ocurrir incendios accidentales en los rellenos sanitarios. Al entrar en combustión las sustancias depositadas se pueden liberar compuestos químicos como dioxinas, metales pesados, óxidos de nitrógeno, material particulado y numerosos compuestos orgánicos volátiles (GAIA, 2004). A propósito de esto, la USEPA identificó a los incendios a cielo abierto en los rellenos sanitarios como una de las 5 principales fuentes de dioxinas en los Estados Unidos (Costner, 2006).

Es por ello que objetivo de este trabajo es exponer que existen técnicas para el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos mediante técnicas que permiten el aprovechamiento energético de los gases y el aprovechamiento y recolección de los lixiviados, denominada: "Túneles de metanización de lotes secuenciales", que puede ser aplicado en la provincia de Esmeraldas.

El área de estudio de la presente investigación está ubicada en el Cantón Esmeraldas, Provincia de Esmeraldas, República del Ecuador, el cual se encuentra dentro de las siguientes coordenadas geográficas y con un clima tropical húmedo con temperaturas de entre 26 hasta 35°C, con una humedad relativa de 80% de promedio. La altitud va desde los 4 hasta los 120 msnm.

## 2. Materiales y Métodos

Se aplicó el método analítico y el método sintético, en particular se analizaron los datos de las instituciones ecuatorianas sobre los residuos sólidos urbanos, y las tecnologías que se utilizan hoy en el mundo que son más ventajosas desde el punto ambiental para el tratamiento de los RSU.

El cantón Esmeraldas cuenta aproximadamente 218.727 habitantes de y sus parroquias aledañas (proyección INEC al 2020) cuentan con el servicio de recolección, se ha estimado que cada habitante genera por día, un promedio de 0,71 kg de residuos. El valor obtenido no supera el valor promedio para el Ecuador de 0,81 kg/



hab/día obtenido por el Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS).

Los residuos sólidos urbanos son manejados por el GAD de Esmeraldas, que se encarga de la recolección, barrido y disposición final a través del Departamento de Higiene Municipal. La cobertura del servicio de recolección es del 80% en los barrios del casco urbano y de un 50% en el área rural.

En la tabla 2 podemos encontrar una proyección de la generación de residuos en el cantón Esmeraldas, calculada en base a las proyecciones poblacionales tanto urbanas como rurales, a partir de censos nacionales.

**Tabla 2**

*Proyección de generación de residuos en el cantón Esmeraldas.*

Proyección de la demanda						
Vida útil	Año	PPC	kg/día	kg/año	t/día	t/año
1	2019	0,71	154000	56210000	154	56210
2	2020	0,72	156849	57249885	156,85	57249,885
3	2021	0,72	161207	58840555	161,21	58840,555
4	2022	0,73	165740	60495100	165,74	60495,1
5	2023	0,74	170451	62214615	170,45	62214,615
6	2024	0,75	175342	63999830	175,34	63999,83
7	2025	0,75	180418	65852570	180,42	65852,57
8	2026	0,76	185682	67773930	185,68	67773,93
9	2027	0,77	191137	69765005	191,14	69765,005
10	2028	0,77	196788	71827620	196,79	71827,62
11	2029	0,78	202639	73963235	202,64	73963,235
12	2030	0,79	208694	76173310	208,69	76173,31
13	2031	0,80	214957	78459305	214,96	78459,305
14	2032	0,80	221434	80823410	221,43	80823,41
15	2033	0,81	228129	83267085	228,13	83267,085
16	2034	0,82	235047	85792155	235,05	85792,155
17	2035	0,82	242193	88400445	242,19	88400,445
18	2036	0,83	249573	91094145	249,57	91094,145
19	2037	0,84	275192	100445080	275,19	100445,08
20	2038	0,85	265056	96745440	265,06	96745,44

*Fuente: Los autores.*

Los residuos se depositan en el vertedero de desechos sólidos “El jardín” (29,17 hectáreas), vertedero construido a cielo abierto que no cumple con los requisitos técnicos y ambientales necesarios para llevar a cabo una adecuada disposición de los residuos. En el lugar, los residuos tienen una mala disposición y un manejo inadecuado de lixiviados (figura 4) (Muñoz, 2015).

#### Figura 4

Lixiviador.



Fuente: Los autores.

En este botadero los residuos sólidos urbanos (RSU) son receptados sin un acondicionamiento previo, un sistema de evacuación de aguas lluvias o un sistema de conducción de biogás o planta de tratamientos de lixiviados.

Actualmente la ciudad cuenta con el proyecto de la construcción de un relleno sanitario en el mismo predio del actual vertedero de la ciudad, el relleno sanitario tendrá una capacidad de 603.538 m<sup>3</sup> que se prevé sean suficientes para la disposición de los residuos generados aproximadamente en 14 años.

El biogás generado en los rellenos sanitarios (RESA's) es una mezcla de gases que se producen como resultado de factores físicos, químicos y procesos microbianos que tienen lugar dentro de la basura en la fracción orgánica. Estudios realizados en los RESA's donde se usan los datos de pruebas de extracción de biogás, muestran un rango de producción de 0.05 y 0.40 m<sup>3</sup> de biogás por kg de residuos (Aguilar, 2011).

Considerando los riesgos para la salud y el ecosistema que representan los rellenos sanitarios (RESA's), según los estudios realizados, es necesario, utilizar otra tecnología que ya existen en Europa y se instalan en la República Federativa de Brasil.

La metanización es un proceso biológico natural en el cual se transforma la materia orgánica en biogás. También se lo conoce como digestión anaeróbica, considerando que el material es tratado en un ambiente hermético sin oxígeno.

Los residuos son primero analizados, luego se preparan, tratan e ingresan en un "digestor" o "metanizador", para luego ser mezclados y calentados. Al fermentar, las bacterias convierten la materia orgánica que es fácilmente degradable en biogás. Luego de ser purificado, al biogás se lo conoce como biometano, el mismo que puede ser olorizado, controlado por el operador de la red de gas y puede ser llevado a la red de distribución. Este gas tiene las mismas características del gas natural, siendo imposible distinguirlo al ser mezclado.

Independientemente de la configuración de la tecnología o metanización empleado, una planta industrial dirigida al tratamiento de la fracción orgánica de los RSU debe consistir en muchos procesos secuenciales, ya sea manual, mecánica y biológica, con el fin de permitir la recuperación de las fracciones principales que componen el RSU - orgánicos e inorgánicos; contemplar procesos específicos para el tratamiento y / o el acondicionamiento de estas fracciones; promover la eliminación adecuada de los materiales de desecho de la planta, que no son susceptibles de tratamiento y / o reciclaje; además debe disponer de procesos para la



estabilización de los materiales resultantes del proceso anaeróbico, en sus fracciones sólida y líquida; y, por último, las instalaciones de control ambiental para el tratamiento de las emisiones y olores derivados de las actuaciones.

Estas unidades de tratamiento de RSU integrados se denominan plantas de Tratamiento Mecánico Biológico o plantas de TMB. En general, la TMB no se considera como una sola tecnología, sino que incluye un conjunto de procesos mecánicos y biológicos combinados a fin de permitir la recuperación de las diferentes fracciones que constituyen el MSW, es por lo tanto aplicable a los residuos no separado en la fuente.

El sistema de tipos Túneles Metanización (figura 5) se caracteriza por su construcción en forma de túneles o garajes, que operan en lotes secuenciales, o, es decir, se abren secuencialmente los túneles, vaciados y alimentados con FORSU (Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos). Es un proceso de digestión anaeróbica a través de extra seca operado la gama mesófila, y el reactor dispuesto horizontalmente, formato rectangular, generalmente construido en hormigón armado.

El sistema de suministro y la extracción se realiza a través del cargador. El residuo se mantiene en el interior del reactor durante un periodo total de metanización. Como sistema auxiliar, se lleva a cabo la recirculación de los lixiviados, que se dirige a un reactor de líquido para después su reintroducción en el proceso, a través de pulverización del material en la digestión. En el interior de los túneles de metanización no hay sistema agitación, el proceso se optimiza con la recirculación de lixiviados.

## Figura 5

*Túnel de metanización.*



*Fuente: Los autores.*

Cuando el procedimiento de metanización, se inyecta aire ambiente en el túnel del reactor con el fin de eliminar el actual metano, lo que minimiza los riesgos de explosión durante la apertura del reactor para la eliminación del material digerido.

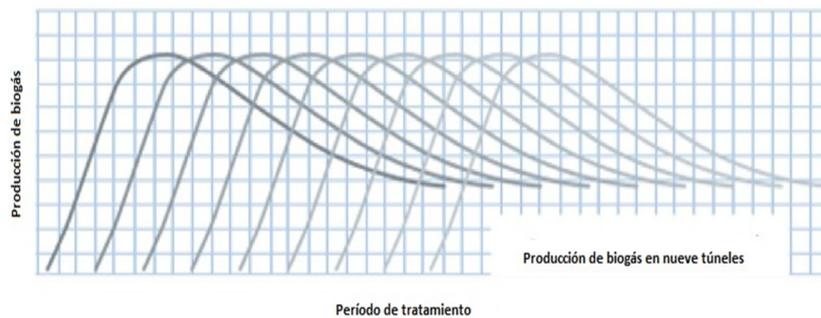
Después de la extracción, el material digerido se envía para el compostaje, donde el proceso de estabilización está finalizado. La gran ventaja de este sistema es la posibilidad de utilizar residuos con alto contenido de inorgánicos (plásticos, vidrio, madera y piedras otros). Debido a que el reactor está continuamente abierto para la eliminación material digerido, no hay posibilidad de acumulación de inorgánicos dentro, hecho de que a menudo se produce en el flujo de pistón de la tecnología y los daños operación.

Dentro de las ventajas de la metanización de los residuos urbanos tenemos:

- Es un proceso confinado que trata los olores de los materiales que ingresan
- Producción de energía verde local y almacenable, se puede utilizar el biometano como gas o combustible (bioGNV)
- Producción de una enmienda orgánica a las propiedades fertilizantes utilizadas en la agricultura, ofreciendo una alternativa a los fertilizantes químicos (figura 6).

### Figura 6

Producción de biogás en toneles por lotes.



Fuente: Los autores.

## 3. Resultados y Discusión

La ciudad de Esmeraldas genera alrededor de 134'538.336 kg por día de RSU, de los cuales el 53.81% son residuos orgánicos que constituyen la cantidad de 72.395 kg de residuos orgánicos que según los datos del Banco Mundial pueden producir entre

3.619.75 a 28.958 m<sup>3</sup> de biogás, si tenemos en cuenta que el 70% del biogás es metano se estar emitiendo a la atmosfera 2533.8 a 20270.6 m<sup>3</sup>, que es un gas de efecto de invernadero.

El objetivo principal de usar el TMB como herramienta de gestión los residuos es minimizar el impacto ambiental asociado a la eliminación final de los residuos orgánicos, y un valor adicional a través de la recuperación materiales de reciclables, así como la obtención de compuesto y biogás. En la actualidad, los objetivos estratégicos dirigidos a las plantas de TMB se refieren a maximizar el valor de “subproductos” obtenido estas unidades mediante la optimización de los procesos mecánico- biológico de la calidad del compost final, materiales reciclables, y del combustible fracciones recuperables (Combustible Derivado de Residuos - CDR). Se ha prestado atención al mismo tiempo en la regulación aplicable a la comercialización de estos productos, destinada a consolidar nueva mercados y la expansión de la viabilidad económica de las plantas de esta naturaleza, que incluye la generación de energía a partir de biogás generado en el proceso.

Si se recupera este biogás se puede utilizar en:

- Iluminación
- Refrigeración
- Cocinar
- Generar calor
- Operar maquinarias agrícolas
- Generar energía eléctrica

Un metro cubico (m<sup>3</sup>) de biogás es igual a 6.000 kilocalorías. Haciendo una comparación de biogás con otras fuentes de energía, un metro cúbico de biogás es el equivalente de:



- 6,8 kilovatios de electricidad
- 0,6 metros cúbicos de gas natural
- 0,8 litros de gasolina
- 1,2 litros de alcohol combustible
- 0,3 kilogramos de carbón
- 0,71 litros de fueloil
- 1,5 kilogramos de madera

#### 4. Conclusiones

La gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) en la ciudad de Esmeraldas presenta importantes desafíos que requieren una intervención estructurada y sostenible. Frente a las prácticas actuales, como los botaderos a cielo abierto, botaderos controlados, celdas emergentes y rellenos sanitarios, que no representan soluciones adecuadas desde el punto de vista ambiental, sanitario ni económico, la implementación de un sistema de Tratamiento Mecánico Biológico (TMB) emerge como una alternativa eficiente. Este tipo de tecnología, en particular mediante el uso de túneles de metanización, permite un tratamiento moderno y controlado de los residuos, garantizando una reducción significativa del impacto ambiental, mejorando las condiciones de salud pública y generando beneficios económicos, entre ellos la creación de nuevos empleos. En este contexto, el TMB se perfila como una solución integral para una gestión de residuos más sostenible en la ciudad de Esmeraldas.

#### 5. Referencias bibliográficas

- Aguilar-Virgen, Q., Taboada-González, P. A., & Ojeda-Benítez, S. (2011). Modelo mexicano para la estimación de la generación de biogás. *Ingeniería*, 15(1), 37-45. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46718150006.pdf>
- Cabrera, E. S. (2022). Alternativas bioenergéticas de los residuos sólidos urbanos: panorama en México. *Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, (31), 59-76. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.31.2022.5086>
- Carvajal Romero, H., Teijeiro Álvarez, M., & García Álvarez, M. T. (2022). Análisis de la gestión de los residuos sólidos urbanos en Europa. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(1), 402-415. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202022000100402&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202022000100402&script=sci_arttext)
- Castañeda-Torres, S., & Rodríguez-Miranda, J. P. (2017). Modelo de aprovechamiento sustentable de residuos sólidos orgánicos en Cundinamarca, Colombia. *Universidad y Salud*, 19(1), 116-125. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0124-71072017000100116&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0124-71072017000100116&script=sci_arttext)
- Costner, P., & sobre Plaguicidas, R. D. A. (2006). Estimando las liberaciones y priorizando las fuentes de dioxinas en el Convenio de Estocolmo. *Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México (RAPAM)*. [https://www.rapam.org/wp-content/uploads/2015/12/estimando\\_dioxinas\\_en\\_estocolmo.pdf](https://www.rapam.org/wp-content/uploads/2015/12/estimando_dioxinas_en_estocolmo.pdf)
- Chiriboga, C., & Maribel, G. (2015). Una mirada en el futuro propuesta de mejora para el manejo de desechos sólidos en el centro de la Municipalidad de Esmeraldas, Ecuador. <https://www.semanticscholar.org/paper/Una-mirada-en-el-futuro-propuesta-de-mejora-para-el-Chiriboga-Maribel/3851b1bae4b83e18c1aa484c1fcf4ad1556722a5>

- Clavero Rodrigo, M. E. (2016). BIOLEACH: un modelo matemático para la evaluación conjunta de la producción de lixiviados y biogás en vertederos de RSU. [iunet.upv.es/handle/10251/74687b](https://iunet.upv.es/handle/10251/74687b)
- Delamaza, G., Robles, C., Montecinos, E., & Ochsenius, C. (2012). Redes de política pública y agendas de participación ciudadana en el Chile postransicional. ¿Desafiando la política o recreando sus límites?. *Gestión y política pública*, 21(1), 45-86. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-10792012000100002&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-10792012000100002&script=sci_arttext)
- Escobar Carreño, N. (2004). Análisis de compuestos orgánicos volátiles en agua potable por cromatografía de gases. <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/8c1f71f1-1615-4dc5-aca0-9b4850374d63/content>
- Guerra, A. R., & Cajas, K. A. B. (2022). Generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU): análisis de una década de gestión en países de Europa y América. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas: REMCB*, 43(1), 49-61. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8714767>
- Itriago, G. L., Silva, I. N., & Cortes, F. G. (2013). Cáncer en Chile y el mundo: una mirada epidemiológica, presente y futuro. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 24(4), 531-552. [https://doi.org/10.1016/S0716-8640\(13\)70195-0](https://doi.org/10.1016/S0716-8640(13)70195-0)
- López Veloza, N. A., Páez Monroy, M. R., & Roncancio, A. N. (2018). Estudio de factibilidad para la creación de una planta de producción de abono orgánico usando larvas de escarabajos para la transformación de los residuos orgánicos generados en el Centro de Acopio de la ciudad de Chiquinquirá, Boyacá. <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/2595>
- Muñoz, M. D. P. S. (2015). ¿Le apuestan los sistemas de manejo de residuos sólidos en el mundo al Desarrollo Sostenible?. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1, 445-450. <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263139243060.pdf>
- Pineda Caicedo, S. Y., & Ramírez Acosta, A. D. P. (2017). Caracterización de la población infantil expuesta a COVS aledaña al relleno sanitario Doña Juana 2010. <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/673>
- Sáez, A., & Urdaneta, J. A. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia*, 20(3), 121-135. <https://www.redalyc.org/pdf/737/73737091009.pdf>