



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Cuantificación del biogás generado en tres sitios de disposición final del Estado de San Luis Potosí, México

Quantification of biogas generated at three disposal sites in the State of San Luis Potosí, México

López-Díaz, N.L.^a, Durán-García, H.M.^{b*}, Álvarez-Fuentes, G.^b, Ávila-Galarza, A.^c, Pulido-Delgado, J.L.^c, Barajas-Beltrán, M. del S.^d

^a Programa multidisciplinario de postgrado en ciencias ambientales, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Avenida Manuel Nava No.11. C.P. 78216. Zona Universitaria. San Luis Potosí.

^b Instituto de Investigación de Zonas Desérticas. Calle Altair No. 200, Fracc. Del Llano. C.P. 78377. San Luis Potosí, SLP.

^c Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Avenida Manuel Nava No. 8. C.P. 78216. Zona Universitaria. San Luis Potosí, SLP.

^d Ma. Del Socorro Barajas Beltrán. Secretaria de Educación del Gobierno del Estado (SEGE). San Luis Potosí. normal295@gmail.com; hduran@aslp.mx; gregorio.alvarez@uaslp.mx; galarza@uaslp.mx; jpulido@uaslp.mx; bbkokis@gmail.com

Innovación tecnológica: Potencial de generación de biogás en rellenos sanitarios.

Área de aplicación industrial: Bioenergía.

Recibido: 12 mayo 2021

Aceptado: 02 septiembre 2022

Abstract

Final disposal is the last stage in the integrated management of urban solid waste, which, due to its polluting nature is necessary to evaluate the release of gases in order to determine the appropriate control processes, minimizing the environmental impact. The objective was to quantify the biogas generation by the decomposition of urban solid waste in the final disposal sites of the municipalities of San Luis Potosí, Mathehuala and Tancanhuitz. The methodology consisted of recovering and analyzing the data from the final disposal site and, using the Mexican Biogas Model, the biogas generated in the sanitary landfills was modeled. The results obtained indicated that the maximum generation of biogas in the San Luis Potosí landfill will be presented in the year 2042 and will be approximately 38.27 Mm³/year; at the Matehuala in 2029 and it will be 2.1 Mm³/year and at the Tancanhuitz inter-municipal dump of 3.6 Mm³/year in 2025.

Keywords: biogas, sanitary landfill, urban solid waste, final disposal sites, biogas generation.

Resumen

La disposición final es la última etapa en el manejo integral de los residuos sólidos urbanos, que por su carácter contaminante es necesario evaluar la liberación de gases para determinar los procesos de control adecuados, minimizando el impacto ambiental. El objetivo fue cuantificar la generación de biogás por la descomposición de los residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final de los municipios de San Luis Potosí, Matehuala y Tancanhuitz. La metodología consistió en recuperar y analizar los datos del sitio de disposición final y, utilizando el modelo mexicano de biogás se modeló el biogás generado en los rellenos sanitarios. Los resultados obtenidos indican que la generación máxima de biogás en el relleno sanitario de San Luis Potosí se presentará en el año 2042 y será de aproximadamente 38.27 Mm³/año; en el de Matehuala en el año 2029 y será de 2.1 Mm³/año y en el tiradero intermunicipal de Tancanhuitz de 3.6 Mm³/año en el año 2025.

Palabras clave: biogás, relleno sanitario, residuos sólidos urbanos, sitios de disposición final, generación de biogás.

1. Introducción

Ante el incremento de residuos sólidos urbanos, se da cada vez mayor importancia al manejo y tratamiento, desde el reciclado y reutilización, hasta la prevención y gestión. Como ejemplo se tiene el caso de Melmő (Suecia), donde la basura se separa de origen, se recicla, reutiliza y de ser posible se elabora composta; además con el biogás se genera energía, logrando que el 60% de las necesidades de calefacción se abastezca a partir de la energía del biogás, generado por la descomposición controlada de los residuos sólidos urbanos (ISWA, 2015). En América Latina y el Caribe, Rondón *et al.*, (2016) mencionan que de la disposición final de los residuos sólidos urbanos (RSU); el 54.4% son depositados en rellenos sanitarios, el 18.5% en sitios controlados, el 23.3% en tiraderos a cielo abierto, el 2% son quemados a cielo abierto y el 1.8% son desechados directamente a cuerpos de agua, lo cual resulta en impactos sanitarios y ambientales (Castañeda *et al.*, 2019). En México, el gobierno de la Ciudad de México (2019) organizó y clasificó a los residuos sólidos urbanos, quedando en porcentajes de la siguiente forma; el 52.4% son residuos de comida, jardines y materiales orgánicos

similares (con los cuales bien se puede elaborar composta), 13.8% es papel, cartón y otros productos de papel, el 12.1% es clasificado como otro tipo de basura, el 10.9% son plásticos, el 5.9% es vidrio, el 1.7% aluminio, el 1.4% textiles, el 1.1% materiales ferrosos y el 0.6% se clasifican como otros materiales no ferrosos.

Al manejo de los residuos sólidos urbanos, de acuerdo a la LGPGIR (ley general para la prevención y gestión integral de los residuos), se les define como: “las actividades de reducción en la fuente, separación, reutilización, reciclaje, co-procesamiento, tratamiento biológico, químico, físico o térmico, acopio, almacenamiento, transporte y disposición final de residuos, individualmente realizadas o combinados de manera apropiada, para adaptarse a las condiciones y necesidades de cada lugar, cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social”. La generación de residuos sólidos urbanos se ha incrementado notablemente en los últimos años, pues en un diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos se observó que de 2003 a 2011, se incrementó en un 25% y se asocia

principalmente al incremento poblacional, al desarrollo industrial, a las mejoras tecnológicas y al cambio en los patrones de consumo (Semarnat, 2020 a). Por regiones en el Centro de México se genera el 51% (20,794.05 MTon), en la Frontera Norte el 16% (6,748.85 MTon), en la Ciudad de México el 12% (4,891 MTon), en el Norte el 11% (4,378.18 Mton) y en el Sur el 10% (4,250.42 Mton). La cobertura nacional de recolección es de 83.93%, aunque los estados como Colima, Aguascalientes, Chihuahua, Ciudad de México, Nayarit y Quintana Roo reportan cobertura de recolección al 100%. Los estados de Baja California Sur, Guerrero y Puebla reportan una cobertura menor al 50% (INECC, 2020). En México se reportan 86 estaciones de transferencia, en la mayoría de estas instalaciones (71.43%) solo se realizan actividades de transferencia; en el 22.62% de ellas, se realizan actividades de transferencia separación y en el 5.95% actividades de acondicionamiento de los materiales separados, como trituración y compactación (INECC, 2020). El tratamiento es el procedimiento físico, químico, biológico o térmico, mediante el o los cuales las características de los residuos cambian, reduciendo el volumen, así como la peligrosidad, para a continuación, depositar o confinar permanentemente los residuos en un sitio que cumpla con las características para prevenir afectaciones a la salud y a los ecosistemas. En la etapa de tratamiento se realizan actividades de separación física de residuos y de tipo biológico, así como elaborar composta (Semarnat, 2020 b).

Uno de los productos de la descomposición anaerobia de los residuos es el biogás. El biogás es una mezcla inflamable de gases que contiene mayormente CH_4 , en una proporción en volumen de 50 – 70%, por lo tanto, hay que complementarlo, el resto es principalmente CO_2 con presencia de otros gases. En términos de la composición de las emisiones totales de los “Gases de Efecto Invernadero”

(GEI) en México, el CO_2 es el de mayor generación (75.1%), seguido del metano (19%). Por otro lado, es importante mencionar que los residuos sólidos urbanos son responsables del 4% de las emisiones totales en México y, que los sitios de disposición final de estos, aportan el 2.9% de las emisiones totales; que equivalen a 21920.61 t de CO_2 eq (INECC, 2018).

Debido a la necesidad ambiental de tratar los residuos de los rastros y cuantificar la cantidad de biogás generado en sitios de disposición final, a comienzos de 1970 en Europa Central se empezó a trabajar en el desarrollo de modelos matemáticos que describen el procesamiento anaerobio de los residuos sólidos urbanos (Buhr y Andrews, 1977). Los primeros trabajos realizados se enfocaron en el modelado para la digestión de excreta de cerdos; estos modelos de origen incorporan las etapas de hidrólisis y acidogénesis para estimar el efecto de la sobrecarga orgánica en la velocidad de metanización. En México se ha venido trabajando en el modelado, tan es así, que existe el modelo mexicano de biogás; en este modelo se consideran variables específicas para México, ya sea por zona o por región geográfica (Aguilar-Virgen *et al.*, 2011), este modelo sirve para simular la producción de biogás producido por la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos.

La Secretaria de Ecología y Gestión Ambiental del Gobierno del Estado de San Luis Potosí (SEGAM) señala que el manejo de los residuos sólidos urbanos es crítico, ya que, de los 54 sitios de disposición final, sólo cuatro de ellos cumplen con lo estipulado en la NOM-083-SEMARNAT-2003; mientras que los otros no cuentan con sistemas de ventilación o quema de biogás, ni con regulación de lixiviados (SEGAM, 2018).

Por lo anterior, la Ley ambiental del estado de San Luis Potosí surge por la necesidad de

contar con ordenamientos jurídicos para que el estado pueda cumplir con los principios de la política ambiental nacional, específicamente la regulación de los sistemas de recolección, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los RSU, así como la selección, determinación y autorización de los sitios destinados para el confinamiento de los residuos en conjunto con los municipios. Con lo anterior en este trabajo se puso como objetivo cuantificar la generación de biogás por la descomposición de los residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final de los municipios de San Luis Potosí, Matehuala y el tiradero intermunicipal de Tancanhuitz.

2. Metodología

Para cuantificar la generación de biogás en los rellenos sanitarios, estudiados en el estado de San Luis Potosí, se partió de la recopilación de datos de la actividad relativos a la generación, composición y gestión de los residuos. A partir de la composición y generación potencial de biogás, se indican las emisiones correspondientes de CH₄, CO₂ y H₂S derivados de la degradación de los residuos sólidos.

Este trabajo se ajustó a la metodología propuesta en el modelo mexicano de biogás 2.0, el cual requiere que el usuario alimente datos específicos (Ecuación 1), tales como año de apertura, año de clausura, índice de disposición anual, precipitación promedio anual y eficiencia del sistema de recolección (Aguilar-Virgen et al., 2011). El modelo provee automáticamente valores para el índice de generación de metano (k) y la generación potencial de metano (L₀). Los valores de k y L₀ varían dependiendo de la precipitación promedio anual y pueden utilizarse para proyectar la generación de biogás en rellenos sanitarios municipales localizados en las diferentes regiones de México. El modelo asume que el periodo es

de un año desde la colocación de los residuos y el comienzo de la generación de biogás; después del año la generación disminuye exponencialmente mientras el residuo es consumido (Aguilar-Virgen et al., 2011).

$$Q_{LFG} = \sum_{t=1}^n \sum_{j=0.1}^1 2kL_0 \left[\frac{M_i}{10}\right](e^{-kt_{ij}})(MCF)(F) \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

Q_{LFG}= Flujo de biogás máximo esperado (m³/año)

i= Incremento en tiempo de un año

n= Año del cálculo (año inicial de disposición de residuos)

j= Incremento de tiempo en 0.1 años

L₀= Generación potencial de metano (m³/Mg)

t_{ij}= Edad de la sección j de la masa de residuos M_i dispuestos en el año i (años decimales)

MCF= Factor de correspondencia de metano

F= Factor de ajuste por incendios

k= Índice de generación de metano (l/año).

El índice de generación de metano (k) depende del contenido de humedad, la disponibilidad de nutrientes, el pH y la temperatura; el contenido de humedad dentro de un relleno sanitario es uno de los parámetros más importantes que inciden en la tasa de generación de gas, ya que sirve como medio para el transporte de nutrientes y bacterias. Su presencia en el relleno sanitario depende de la infiltración de agua de lluvia, del contenido inicial de humedad del residuo, la cantidad y tipo de cobertura diaria que se usa en el sitio, la permeabilidad y tiempo de disposición de la cobertura final, el tipo de impermeabilización de la base, el sistema de recolección de lixiviados y la profundidad del residuo (Aguilar Virgen et al., 2011).

El potencial de generación de metano (L₀), describe la cantidad total de CH₄ potencialmente producida por unidad de masa de residuos cuando ésta se degrada, y depende casi exclusivamente de la composición de los

residuos, en particular de la fracción orgánica presente (IPCC, 2019). Su valor se estima con base en el contenido de carbono del residuo, la fracción de carbono biodegradable y el factor de conversión estequiométrico.

3. Resultados

Experiencia y casos similares a este se tienen en diferentes regiones de México y otros países, por ejemplo, en Puerto Rico se tiene una planta que procesa aproximadamente 2,100 toneladas de residuos municipales al día y genera 67 megavatios (MW) (USDA, 2015). A continuación se describen las condiciones de operación de los tiraderos de Matehuala, intermunicipal de Tancanhuitz y San Juanico el grande.

Tiradero de Matehuala

El tiradero del municipio de Matehuala, es operado por el mismo municipio, inicio actividades en el año 2012 y se prevé que tenga una vida útil de aproximadamente 14 años, recibe un aproximado de 67 toneladas diarias; la profundidad de las celdas es de 5 metros y cuenta con cuatro pozos para quema de biogás. Considerando lo estipulado en la NOM-083-SEMARNAT-2003, en la Tabla 1 se muestra un check list de los estudios y análisis con los que en teoría debería cumplir el tiradero controlado a cielo abierto, respecto a lo real.

Tabla 1. Evaluación del cumplimiento de estudios y análisis previos requeridos para la construcción de un sitio de disposición final.

Estudios y análisis	Cumplimiento real
Evaluación geológica y geohidrológica	No cumple
Hidrológica	No cumple
Topográfica	No cumple
Generación y composición de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial	No cumple
Generación de biogás	No cumple
Generación de lixiviados	No cumple

Elaboración propia.

Por lo anterior, se deduce que este tiradero no cumple con los requerimientos mínimos a considerar previo a la construcción, por lo tanto, se podría suponer que la operación es ineficiente y es posible que genere impactos ambientales que no estén siendo controlados y/o mitigados.

Los aspectos abióticos son importantes a manera de complemento para entender las condiciones a las que se encuentra influenciado el sitio, Tabla 2.

Tabla 2. Aspectos abióticos del tiradero de Matehuala.

Clima	Geología	Edafología
La temperatura oscila entre los 14 y los 20 °C, la precipitación varía de 300 a 500 mm. El clima es seco semicálido.	Los periodos se encuentran distribuidos de la siguiente manera: cuaternario (65.7%), cretácico (28.7%) y neógeno (4.2%). Las rocas presentes son de tipo sedimentaria: caliza (24.9%), conglomerado (4.2%), caliza – lutita (3.8%).	Los tipos de suelo dominantes son: calcisol (39%), leptosol (31.4%), kastañosem (15.1%), gypsicol (8.3%), phaeozem (2.8%) y solonchack (0.3%).

Fuente: INEGI, 2013.

Tiradero intermunicipal de Tancanhuitz

Este sitio de disposición final es de índole intermunicipal, constituido por los municipios de Tancanhuitz, Xilitla, Axtla de terrazas y Aquismón. Es operado por el municipio de Xilitla, inició actividades en el año 2004 y se prevé que tendrá una vida útil de 20 años; recibe aproximadamente 112

toneladas diarias. La profundidad de las celdas es de 8 m y cuenta con cuatro pozos para quema de biogás (SEGAM, 2018).

Al igual que el tiradero de Matehuala y de acuerdo a la NOM-083-SEMARNAT-2003, se efectuó un check list de los estudios y análisis con los que en teoría debería cumplir el tiradero, Tabla 3.

Tabla 3. Evaluación de cumplimiento de estudios y análisis previos requeridos para la construcción de un sitio de disposición final en Tancanhuitz.

Estudios y análisis	Cumplimiento real
Geológico y geohidrológico regionales	No cumple
Evaluación geológica y geohidrológica	No cumple
Hidrológico	No cumple
Topográfica	No cumple
Generación y composición de los residuos sólidos urbanos de anejo especial	No cumple
Generación de biogás	No cumple
Generación de lixiviados	No cumple

Elaboración propia.

Por lo anterior, el tiradero no cumple con los requerimientos mínimos previos a la construcción; por lo que existe la posibilidad de que se genere impacto ambiental no controlado.

Los aspectos abióticos al ser importantes para entender a qué condiciones se encuentra influenciado, se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4. Aspectos abióticos en el tiradero intermunicipal de Tancanhuitz.

Clima	Geología	Edafología
Semicálido húmedo con abundante lluvia en verano, el rango de temperatura oscila entre 22 y 26 °C y el de precipitación de 1500 – 2500 mm.	Paleontógeno (50.9%), cretácico (48.2%), cuaternario (0.6%) y terciario (0.3%). La roca es de tipo sedimentaria: lutita (55.6%), lutita – arenisca (41.7%), caliza – lutita (1.3%) y caliza (0.3%).	Los suelos dominantes son: calcisol (39%), ceptosol (31.4%), kastañozem (2.8%), regosol (1.2%), chernozem (0.8%) y solonchak (0.3%).

Fuente INEGI, 2013.

Relleno sanitario de San Juanico el grande

Este relleno sanitario se ubica en la ciudad de San Luis Potosí, empezó a operar en el año 2015, se estima que tendrá una vida útil de 25 años y se construirán 15 celdas. Hay un cárcamo de lixiviados y 17 pozos de biogás;

la recepción de residuos sólidos urbanos es de aproximadamente 800 toneladas diarias. La evaluación del cumplimiento de estudios y análisis previos para la construcción con base en la NOM-083-SEMARNAT-2003 se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5. Evaluación de cumplimiento de estudios y análisis previos requeridos para la construcción del relleno sanitario de San Juanico el Grande, San Luis Potosí.

Estudios y análisis	Cumplimiento real
Geológico y geohidrológico regional	Cumple
Evaluación geológica y geohidrológica	Cumple
Hidrológico	Cumple
Topográfico	Cumple
Generación y composición de los residuos sólidos urbanos y manejo especial	Cumple
Generación de biogás	Cumple
Generación de lixiviados	Cumple

Elaboración propia.

Con base en lo indicado en la tabla 5, se concluye que el relleno sanitario de San Juanico el grande cumple con los estudios y análisis previos a la construcción del sitio de disposición final, por lo tanto, esto podría indicar que el relleno sanitario operara eficientemente, aunado a que esta concesionado a una empresa privada;

marcando gran diferencia con los otros dos tiraderos, que son operados por los municipios.

Los aspectos abióticos del lugar donde se ubica el relleno sanitario de San Juanico el grande, se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Aspectos abióticos del relleno sanitario de San Juanico el grande.

Clima	Geología	Edafología
Clima árido con verano cálido, temperatura media anual entre 12 y 18 °C	Precipitación de Roca volcánica y sedimentaria	Suelos chernozem, luvisol, regosol, vertisol y planosol.

Fuente: INEGI, 2013.

La estimación de la generación de biogás en el relleno sanitario de San Juanico el grande, así como los tiraderos de Matehuala y Tancanhuitz se determinó empleando el software del Modelo Mexicano de Biogás V.2.0. Los valores del índice de generación de metano (k) y de generación potencial de metano (L₀) se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Valores para k y L₀.

Categoría de residuo	k	L ₀
1	0.100	69
2	0.050	149
3	0.020	214
4	0.010	202

Para el factor de corrección de metano (MCF), se consideran como aspectos clave la profundidad de las celdas y la operación en el sitio de disposición final, Tabla 8.

Tabla 8. Valores del factor de corrección de metano (MCF).

Sitio de disposición final	MCF
Tiradero de San Juanico el grande	1.0
Tiradero de Matehuala	0.5
Tiradero intermunicipal de Tancanhuitz	0.5

Al factor de ajuste por incendio se le dio el valor “cero” en los tres casos, pues en ninguno de ellos se reportaron incendios.

Para poder efectuar el modelado de la generación de biogás, en los tres sitios, se requirieron los datos de entrada que se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Datos de los tres rellenos sanitarios.

Nombre del sitio	Tiradero de San Juanico el grande	Tiradero de Matehuala	Tiradero intermunicipal de Tancanhuitz.
Ciudad	San Luis potosí	Matehuala	Tancanhuitz
Estado	San Luis potosí	San Luis potosí	San Luis potosí
Región	Noroeste interior norte	Noroeste interior norte	Noroeste interior norte
Año de apertura del sitio.	2015	2012	2004
Disposición anual del año más reciente (t).	305112	24455	40880
Año de clausura proyectado.	2041	2026	2024
Incremento anual estimado de disposición (%).	1.5	1.5	1.5
Profundidad promedio del relleno sanitario (m).	12	5	8
Porcentaje de área con residuos con cubierta diaria.	90	80	60
Porcentaje del área con residuos sin cubierta diaria.	10	20	40

En la Tabla 10. Se presentan los resultados obtenidos para el relleno sanitario de San Juanico el grande.

Tabla 10. Resultados obtenidos mediante el modelado de la generación de biogás en el tiradero de San Juanico el grande.

Año	RSU acumulados, (t)	Biogás (m ³ /año)	Año	RSU acumulados, (t)	Biogás (m ³ /año)
2015	35325	0	2029	4521594	22398951
2016	263207	268304	2030	4886394	23754000
2017	542682	1984451	2031	5256694	25076439
2018	847794	3977298	2032	5632594	26369811
2019	1157494	6033014	2033	6014094	27637362
2020	1471794	7989260	2034	6401294	28881302
2021	1790794	9854839	2035	6794294	30104401
2022	2114594	11638421	2036	7193194	31309204
2023	2443294	13347902	2037	7598094	32498040
2024	2776894	14990478	2038	8009094	33673052
2025	3115494	16571945	2039	8426294	34836206
2026	3459194	18098336	2040	8849794	35989310
2027	3808094	19575152	2041	9279694	37134028
2028	4162194	21007415	2042	9279694	38271892

El mayor volumen generado de biogás ocurrirá en el año 2042, es decir, un año después de la fecha en la que se tiene prevista la clausura. Posterior al año 2041, únicamente

se tendrá acumulación de residuos y, estos entraran gradualmente a la etapa final de descomposición, denominada estabilización con carácter aerobio, es decir la generación de

biogás decrece porque se empieza a sustituir por nitrógeno y oxígeno que contiene el aire atmosférico, que se introduce a través de las capas superficiales (EPA, 2020).

Los resultados obtenidos mediante el modelo de generación de biogás para el tiradero intermunicipal de Tancanhuitz se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11. Resultados obtenidos mediante el modelado de la generación de biogás en el tiradero intermunicipal de Tancanhuitz.

Año	RSU acumulado (t)	Biogás (m ³ /año)	Año	RSU acumulado (t)	Biogás (m ³ /año)
2004	33084	0	2015	432007	2215388
2005	66672	251710	2016	471670	2374445
2006	100771	490289	2017	511937	2529139
2007	135390	716951	2018	552817	2679913
2008	170536	932804	2019	594317	2827174
2009	206217	1138854	2020	636417	2971274
2010	242441	1336019	2021	679117	3112332
2011	279217	1525135	2022	722417	3250604
2012	316553	1706964	2023	766317	3386323
2013	354458	1882202	2024	810917	3519703
2014	392939	2051483	2025	810917	3651699

En el tiradero intermunicipal de Tancanhuitz se cumple que la mayor generación de biogás ocurre un año posterior a la fecha que se

pronostica la clausura. En la Tabla 12 se tiene el modelado para el tiradero de Matehuala.

Tabla 12. Resultados obtenidos mediante el modelado de la generación de biogás en el tiradero de Matehuala.

Año	RSU acumulado (t)	Biogás (m ³ /año)	Año	RSU acumulado (t)	Biogás (m ³ /año)
2012	22335	0	2021	239271	1270435
2013	45010	169929	2022	265271	1384813
2014	68030	330993	2023	291671	1495633
2015	91401	484012	2024	318471	1603203
2016	115128	629734	2025	345671	1707802
2017	139216	768838	2026	373271	1809685
2018	163671	901944	2027	401271	1909083
2019	188471	1029616	2028	429671	2006208
2020	213671	1152160	2029	429671	2101252

Para el tiradero de Matehuala, la mayor generación de biogás ocurrirá tres años después a la fecha pronosticada de clausura, lo cual puede estar relacionado con las condiciones de diseño y operación; además, este relleno tiene una profundidad de 5 m, lo que permite mayor infiltración de aire, entorpeciendo el proceso de descomposición de la fracción orgánica e influyendo en la generación de biogás. Finalmente es necesario recalcar que es importante generar

en las personas un cambio de paradigma, dejando de pensar que los residuos son algo inútil y, que generar energía a partir de ellos es un desafío importante para el gobierno, empresas privadas y la sociedad misma.

4. Conclusiones

1. La generación de biogás a través del modelado pronostican:

- a) Para el relleno sanitario de San Luis Potosí una generación de 38.27 Mm³/año, en el año 2042.
 - b) Para el tiradero a cielo abierto de Matehuala 2.1 Mm³/año, en el año 2029 y
 - c) Para el tiradero a cielo abierto intermunicipal de Tancanhuitz 3.65 Mm³/año, en el año 2025.
2. Es posible que la profundidad influya en el año de mayor producción de biogás, pues mientras en San Juanico el grande y Tancanhuitz es un año posterior a la clausura, en Matehuala es tres años posterior a la clausura.

5. Referencias

1. Aguilar Virgen Q., Armijo-De Vega C., Taboada González P. (2011). Modelo mexicano para la estimación de la generación de biogás. *Ingeniería Revista Académica* (15): 37-45.
2. Buhr, H.O. and Andrews, J.F. (1977). The thermophilic anaerobics digestion process. *Watter Research*. 11(2):129-143. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(77\)90118-X](https://doi.org/10.1016/0043-1354(77)90118-X).
3. Castañeda Martínez H., Canales García R., Loza López J. (2019). Desarrollo sostenible en la generación de electricidad por medio de energías renovables: una aplicación empírica para el Valle de Toluca, México. *Economía coyuntural*. 4(4).
4. EPA (2020). Mejores prácticas para la gestión de los residuos sólidos: Una Guía para los responsables de la toma de decisiones en los países en vías de desarrollo. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos Oficina de Conservación y Recuperación de Recursos. 169p.
5. Gaceta Oficial de la Ciudad de México (2019). Ley de residuos sólidos del Distrito Federal. 50p.
6. INECC (2020). Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 516p.
7. INECC (2018). Inventario nacional de emisiones de gases y compuestos de gases de efecto invernadero. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 189p.
8. INEGI (2013). Conociendo San Luis Potosí. 36p.
9. ISWA (2015). Global Waste Management Outlook. United Nations Environment Program. ISBN: 978-92-807-3479-9. 346p.
10. IPCC (2019). El IPCC actualiza la metodología para los inventarios de gases de efecto invernadero. Comunicado de prensa. 5p.
11. Rondón Toro, E., Szantó Narea M., Pacheco Juan, Contreras Eduardo y Gálvez Alejandro (2016). Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios. Manuales de la CEPAL. 211p.
12. SEMARNAT (2003). Ley general para la prevención y gestión integral de los recursos. Ciudad de México. Diario Oficial.
13. SEMARNAT (2020 a). Segundo informe de labores. Ciudad de México. 149p.
14. SEMARNAT (2020 b). Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos. Ciudad de México. 274p.
15. SEGAM (2018). Informe de sitios de disposición final en el estado de San Luis Potosí. San Luis Potosí.
16. USDA (2015). Proyecto de generación de energía a partir de residuos sólidos y de recuperación de recursos. San Juan de Puerto Rico. 32p.