UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE BIOGÁS MEDIANTE EL MODELO LANDGEM DEL RELLENO SANITARIO DE PUYO, PASTAZA, ECUADOR.

AUTOR:

Jonathan David Sánchez Tipan

DOCENTE - TUTOR:

MSc. Karem Yael Cazares Carrión

Puyo - Pastaza - Ecuador

2023

UEA
UNIVERSIDAD
ESTATAL AMAZÓNICA

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.

Criterios	Puntaje	Argumentos de la calificación
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5.0 / 5	Cumple los parámetros establecidos
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de que se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales harrazgos y conclusiones.	5.0 / 5	Cumple los parámetros establecidos
3. INTRODUCCIÓN		
Entrega información sobre temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20.0 / 20	Cumple los parámetros establecidos
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15.0 / 15	Cumple los parámetros establecidos
5. METODOLOGÍA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordo la información.	15.0 / 15	Cumple los parámetros establecidos

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y estan claramente representados. El texto no repite infromación entregada en los cuadros y figuras.	25.0 / 25	Cumple los parámetros establecidos
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10.0 / 10	Cumple los parámetros establecidos
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5.0 / 5	
VALORACIÓN TOTAL	100	CIEN

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	Marque con X
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	100

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
LEO MAXIMILIANO RODRIGUEZ BADILLO

LEO MAXIMILIANO RODRÍGUEZ BADILLO (PAR CIEGO)

Dado en la ciudad de PUYO, a los 14 días del mes de SEPTIEMBRE de 2023

UEA
UNIVERSIDAD
ESTATAL AMAZÓNICA

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.

Criterios	Puntaje	Argumentos de la calificación
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5.0 / 5	Cumple con los requisitos.
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de que se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales harrazgos y conclusiones.	5.0 / 5	Cumple con los requisitos.
3. INTRODUCCIÓN		
Entrega información sobre temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20.0 / 20	Cumple con los requisitos.
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15.0 / 15	Cumple con los requisitos.
5. METODOLOGÍA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordo la información.	15.0 / 15	Cumple con los requisitos.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y estan claramente representados. El texto no repite infromación entregada en los cuadros y figuras.	25.0 / 25	Cumple con los requisitos.
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10.0 / 10	Cumple con los requisitos.
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5.0 / 5	Cumple con los requisitos.
VALORACIÓN TOTAL	100	CIEN

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	Marque con X
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	100

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
REGLA MARIA BERNAL GUTIERREZ

REGLA MARÍA BERNAL GUTIÉRREZ (PAR CIEGO)

Dado en la ciudad de PUYO, a los 10 días del mes de SEPTIEMBRE de 2023

Ouriginal by Turnitin

Firmado electrónicamente por:
KAREM YAEL CAZARES CARRION

Document Information

Analyzed document	Trabajo de Integración Curricular Final.docx (D173428035)
Submitted	9/4/2023 8:54:00 PM
Submitted by	CAZARES CARRIÓN KAREM YAEL
Submitter email	kcazares@uea.edu.ec
Similarity	6%
Analysis address	kcazares.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://www.researchgate.net/publication/357076215_Estimacion_de_gas_metano_mediante_el_modelo... Fetched: 6/10/2022 8:15:46 AM	3
SA	**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / Proyecto final del cálculo de biogás en el cantón Pastaza_certificado-urkund.docx** Document Proyecto final del cálculo de biogás en el cantón Pastaza_certificado-urkund.docx (D148974136) Submitted by: esuntasig@uea.edu.ec Receiver: esuntasig.uea@analysis.urkund.com	4
W	URL: https://maepastaza.files.wordpress.com/2017/05/estudio_de_impacto_ambiental_expost_gestion_int... Fetched: 9/4/2023 8:55:00 PM	1
SA	**AIDIS_Ibarra_Articulo.doc** Document AIDIS_Ibarra_Articulo.doc (D50091462)	1
W	URL: https://repositorio.uea.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/834/T.AMB.B.UEA.%20%203273.pdf... Fetched: 9/4/2023 8:55:00 PM	1
W	URL: https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v28s1/v28s1a7.pdf Fetched: 9/4/2023 8:55:00 PM	1
W	URL: https://repositorio.unan.edu.ni/8274/1/69520.pdf Fetched: 9/4/2023 8:55:00 PM	1
W	URL: http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/ing/n29/1390-650X-Ingenius-29-00058.pdf Fetched: 9/4/2023 8:56:00 PM	1
W	URL: https://www.binasss.sa.cr/poblacion/rellenosanitario.htm Fetched: 9/4/2023 8:55:00 PM	1
SA	**TESIS GUEVARA ANDRÉS Urkund.pdf** Document TESIS GUEVARA ANDRÉS Urkund.pdf (D110819922)	1
SA	**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / Propuesta de estudio para el cierre técnico del relleno sanitario del cantón Pastaza.docx** Document Propuesta de estudio para el cierre técnico del relleno sanitario del cantón Pastaza.docx (D142196708) Submitted by: amb2017335@uea.edu.ec Receiver: edison.samaniego.uea@analysis.urkund.com	1

Entire Document

Determinación del potencial de biogás mediante el modelo LandGEM del relleno sanitario de Puyo, Pastaza, Ecuador. Determination of biogas potential using the LandGEM model o the Puyo landfill, Pastaza, Ecuador.

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Ambiental (1)

Resumen El consumismo, el crecimiento poblacional, los diferentes cambios de patrones de consumo, entre otros han generado de una manera acelerada la producción de residuos sólidos que son arrojados al ambiente sin previo tratamiento; la búsqueda de mitigar dichos contaminantes y aprovecharlos da paso a la captación del biogás producido en los rellenos sanitarios. El caso de estudio se fundamentó en el cálculo del biogás generado en el relleno sanitario ubicado en la ciudad de Puyo. Para su determinación, se empleó el modelo LandGEM, el cual requiere datos iniciales como: precipitación, área del relleno sanitario, vida útil del mismo, caracterización de residuos sólidos, todos estos datos son acompañados con el PPC, población futura, índice de generación de metano, potencial de generación de metano, entre otros parámetros. Es importante destacar que el enfoque d este estudio es de naturaleza experimental mixta, en la cual se integraron tanto métodos cualitativos como cuantitativos. Después de proporcionar todos los datos al modelo, se logró obtener una cantidad de metano de 1.749.929,27 m3/año. Luego, se procedió al cálculo del potencial energético, resultando una cantidad de 53628,5 MWh/año, con los cuales en el transcurso del segundo año se podría proporcionar energía a un total de 279 hogares que tengan un consumo máximo de 2007,84 kwh/año, en comparación con la cantidad de energía generada en Puyo, es notablemente inferior a la generada en países como México, China y otros, donde la producción per-cápita y los índices de consumo son significativamente elevados. Para maximizar el biogás en los rellenos sanitarios, es esencial implementar medidas desde el inicio de operaciones y planificar durante un periodo mínimo de 30 años. Para obtener datos más ajustados a la realidad, es recomendable llevar a cabo el cuarteo y caracterización de manera prolongada, permitiendo una estimación precisa de la producción de residuos sólidos.

Palabras Clave: LandGEM, biogás, energía, relleno sanitario.

Determinación del potencial de biogás mediante el modelo LandGEM del relleno sanitario de Puyo, Pastaza, Ecuador.

Determination of biogas potential using the LandGEM model of the Puyo landfill, Pastaza, Ecuador.

Sánchez Tipán Jonnathan 1[1]
amb2016148@uea.edu.ec

Cazares Carrión Karem 2, M.Sc[2]
kcazares@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida,
Carrera de Ambiental (1)

Resumen

El consumismo, el crecimiento poblacional, los diferentes cambios de patrones de consumo, entre otros han generado de una manera acelerada la producción de residuos sólidos que son arrojados al ambiente sin previo tratamiento; la búsqueda de mitigar dichos contaminantes y aprovecharlos da paso a la captación del biogás producido en los rellenos sanitarios. El caso de estudio se fundamentó en el cálculo del biogás generado en el relleno sanitario ubicado en la ciudad de Puyo. Para su determinación, se empleó el modelo LandGEM, el cual requiere datos iniciales como: precipitación, área del relleno sanitario, vida útil del mismo, caracterización de residuos sólidos, todos estos datos son acompañados con el PPC, población futura, índice de generación de metano, potencial de generación de metano, entre otros parámetros. Es importante destacar que el enfoque de este estudio es de naturaleza experimental mixta, en la cual se integraron tanto métodos cualitativos como cuantitativos. Después de proporcionar todos los datos al modelo, se logró obtener una cantidad de metano de 1.749.929,27 m^3/año. Luego, se procedió al cálculo del potencial energético, resultando una cantidad de 53628,5 MWh/año, con los cuales en el transcurso del segundo año se podría proporcionar energía a un total de 279 hogares que tengan un consumo máximo de 2007,84 kwh/año, en comparación con la cantidad de energía generada en Puyo, es notablemente inferior a la generada en países como México, China y otros, donde

la producción per-cápita y los índices de consumo son significativamente elevados. Para maximizar el biogás en los rellenos sanitarios, es esencial implementar medidas desde el inicio de operaciones y planificar durante un periodo mínimo de 30 años. Para obtener datos más ajustados a la realidad, es recomendable llevar a cabo el cuarteo y caracterización de manera prolongada, permitiendo una estimación precisa de la producción de residuos sólidos.

***Palabras Clave**:* LandGEM, biogás, energía, relleno sanitario.

Abstract

Consumerism, population growth, different changes in consumption patterns, among others, have generated an accelerated production of solid waste that is thrown into the environment without prior treatment; The search to mitigate these contaminants and take advantage of them gives way to the collection of biogas produced in sanitary landfills. The case study was based on the calculation of the biogas generated in the landfill located in the city of Puyo. For its determination, the LandGEM model was used, which requires initial data such as: precipitation, area of the sanitary landfill, its useful life, characterization of solid waste, all these data are accompanied by the PPC, future population, generation index of methane, methane generation potential, among other parameters. It is important to highlight that the focus of this study is of a mixed experimental nature, in which both qualitative and quantitative methods were integrated. After providing all the data to the model, it was possible to obtain an amount of methane of 1,749,929.27 m3/year. Then, the energy potential was calculated, resulting in an amount of 53,628.5 MWh/year, with which, in the course of the second year, energy could be provided to a total of 279 homes that have a maximum consumption of 2,007.84 kWh. /year, compared to the amount of energy generated in Puyo, is notably lower than that generated in countries such as Mexico, China and others, where per-capita production and consumption rates are significantly high. To maximize biogas in landfills, it is essential to implement measures from the start of operations and plan for a minimum period of 30 years. In order to obtain data that is more adjusted to reality, it is advisable to carry out quartering and characterization in a prolonged manner, allowing an accurate estimate of solid waste production.

***Keywords**:* LandGEM, biogas, energy, landfill

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional, económico, demográfico, la concentración de población en las zonas urbanas, los cambios de patrones de consumo y las mejoras del nivel de vida, entre otros, de una manera acelerada han generado el incremento de los residuos sólidos generados, contaminando de manera alarmante a nuestro ambiente y más cuando no se tienen los protocolos correctos en su disposición final (Salazar, 2023). Todo este aumento se puede ver reflejado en la generación de residuos de América Latina y el Caribe, pues en 2014 la generación de residuos urbanos fue de 541.000 t/día, y se estima que para el 2050 puede llegar a 671.000 t/día, de acuerdo con estudios previos se estima que 40 millones de personas carecen de acceso a la recolección de residuos sólidos, lo que menora el óptimo gestiona miento de los mismos. (Savino & Solórzano, 2018).

Debido al apresurado crecimiento de los diferentes factores ya mencionados que inciden en la contaminación ambiental, el desarrollo sostenible tiende a tener más fuerza en la proyección para el desarrollo mundial a largo plazo, para así tratar de reducir la contaminación ambiental, proteger el medio social y la economía mundial (Rodríguez, 2019).

El reciclaje es una propuesta positiva para el aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos, el cuál ayuda a disminuir la cantidad de desechos que van a su disposición final en el relleno sanitario ampliando la vida útil del mismo (Raza & Acosta, 2021); su división se basa en residuos orgánicos e inorgánicos teniendo en cuenta que no todos son reutilizables; en el caso de los inorgánicos tenemos el papel, plástico, cartón, madera, ropa y textiles, la mayor parte de ellos son introducidos a nuevos procesos para su aprovechamiento; el caso de los orgánicos son los biodegradables que se componen naturalmente y son aprovechados para realizar compost, fertilizantes, uso para criadero de lombrices, uso para comida de algunos animales (dependiendo el tipo de residuo orgánico), para artesanías con algunos residuos y para la generación de energía (biogás) que es aprovechada por hogares u otros lugares ayudando a reducir la dependencia eléctrica o del gas doméstico (GLP) (Ibarra López & Narváez Castro, 2020).

El biogás es un combustible que se produce tanto en medios naturales como en dispositivos controlados por el hombre, este se origina de manera anaeróbica con la reacción

de biodegradación con ayuda de los microorganismos y otros factores. De esta manera se puede aprovechar los residuos orgánicos para producir combustible y además otros derivados que se aplican como abono o fertilizador del suelo. El biogás está constituido por metano (CH_4) con una concentración del 50%-70% en volumen, dióxido de carbono (CO_2), hidrógeno (H_2), nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2) y ácido sulfhídrico/sulfuro de hidrógeno (H_2S) que están en menores proporciones. El poder calorífico del biogás está en un promedio entre 18,8 y 23,4 megajulios por metro cúbico (MJ/m^3) (Savino & Solórzano, 2018). El metano que se genera en los rellenos sanitarios puede representar un problema ambiental en la gestión de residuos sólidos, pero a la vez teniendo un buen aprovechamiento de él, ayudaría a producir energía que beneficiaría a la propia planta, cubriendo un gasto sustancial en el ahorro de energía eléctrica llevado por cable, y por ende reduciría el costo de operación del relleno sanitario (Andrade & Restrepo, 2018). La parroquia Puyo no ha tenido un control o aprovechamiento óptimo del biogás generado en su relleno sanitario que cada día va en aumento debido a los factores de producción, a la vez los estudios de aprovechamiento de biogás en el Ecuador son escasos y no apoyan a tener un mejor uso del mismo.

Con el fin de aportar más información sobre la gestión de residuos sólidos y a su vez dar una opción para el aprovechamiento del metano, el presente artículo tiene como objetivo determinar el potencial de biogás a través del software LandGEM del relleno sanitario de la ciudad de Puyo, Pastaza, para estimar el beneficio económico y energético, que describirá criterios de implementación sobre la captación del biogás en dicho relleno.

2. MATERIALES Y MÉTODOS/METODOLOGÍA

2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente artículo se fundamenta en un enfoque de estudio mixto que integra aspectos cualitativos y cuantitativos. Esto se debe a que se recopiló información primaria en el relleno sanitario, donde se llevó a cabo la caracterización de los residuos sólidos utilizando el método de cuarteo. Posteriormente, se procedió a interpretar dichos datos obtenidos a través de cálculos basados en fórmulas obtenidas derivadas de estudios previos y del manual de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés), además se hizo uso de múltiples fuentes bibliográficas provenientes de tesis previas, enriqueciendo así el contenido

y respaldando de manera sólida los argumentos presentados en este estudio de investigación universitaria; de igual manera datos como las precipitaciones, clima y características del relleno sanitario fueron obtenidos del INHAMI y del GADM Pastaza. En consecuencia, con el propósito de mejorar la precisión en la ejecución de cálculos, se empleó la plataforma Microsoft Excel. En esta herramienta, se implementó el modelo LandGEM, el cual se utilizó para la estimación del biogás.

2.2.LOCALIZACIÓN

La investigación se desarrolló en la ciudad de Puyo, cabecera cantonal del cantón Pastaza y capital de la Provincia de Pastaza, posee una altitud de 930 msnm y tiene un clima lluvioso tropical de 21.1 °C promedio. Su principal economía se basa en el comercio, el turismo y la agricultura, siendo un factor incidente en la generación abundante de residuos sólidos urbanos que aumentan cada día y sumado a la acogida de numerosos estudiantes que viven en la ciudad debido a la Universidad ubicada en la misma (GADMP, 2020).

El relleno sanitario lleva 18 años funcionando como un botadero controlado, llegando a ocupar una superficie de 2.5 hectáreas, incluido zonas de construcción. Está ubicado al Este de la ciudad de Puyo, conteniendo un lote de 46 hectáreas aproximadamente a cargo del Municipio de Pastaza, localizado en el kilómetro 6 ½ de la vía Puyo - 10 de agosto. La figura 1 muestra la ubicación geográfica del relleno sanitario y área de estudio y a su vez tenemos las coordenadas UTM del mismo plasmadas en la tabla 1 (Guzmán, 2017).

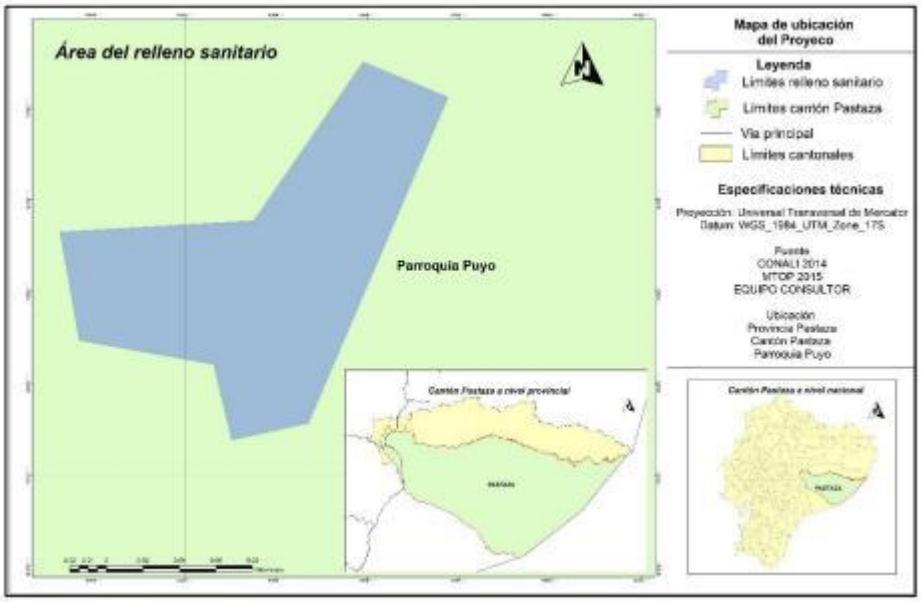
Tabla 1. Coordenadas Geográficas del Relleno Sanitario del Cantón Pastaza

PUNTO	X	Y	ZONA
1	838555	9837944	17
2	838796	9837867	17
3	838761	9837714	17
4	838943	9837644	17
5	838894	9837025	17
6	838659	9837073	17
7	838636	9836810	17

8	838618	9836758	17
9	838358	9836804	71
10	838339	9837000	17
11	838434	9837531	17

Fuente: Adaptado de (Lascano, 2019)

Figura 1. Mapa de la ubicación del Relleno Sanitario



Fuente: Adaptado de **(Guzmán, Estudio de impacto ambiental expost para la gestión integral de desechos peligrosos en el relleno sanitario de la ciudad de Puyo, cantón Pastaza, 2017)**.

2.3. RECOPILACIÓN DE DATOS

Para la evaluación del contenido de metano en el biogás generado en el relleno sanitario de Puyo, se empleó el modelo matemático LandGEM. Este modelo se apoya en una serie de factores, entre los que se incluyen condiciones climáticas, niveles de precipitación, humedad, volumen de residuos, producción per cápita (PPC), así como la proporción de residuos orgánicos como inorgánicos.

En relación con el clima, la precipitación y la humedad, se obtuvieron estos valores a partir de información proporcionada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

(INAMHI). Los datos se extrajeron en colaboración con la estación Hidrológica situada en la parroquia Veracruz. Asimismo, se consideraron aspectos adicionales, como las características topográficas y el tipo de vegetación, para efectuar la determinación del piso climático correspondiente (INAMHI, Recolección de datos hidrológicos y meteorológicos, 2023).

De manera similar, los porcentajes de los residuos sólidos se obtuvieron previamente al inicio del estudio. Para ello, se llevó a cabo la caracterización utilizando el método de cuarteo. Este proceso de recolección se extendió a lo largo de 7 días, seguido de un día adicional destinado a la interpretación de los resultados.

Información referente a aspectos tales como el área del relleno sanitario, el número de celdas existentes y otros datos pertinentes para el desarrollo del estudio, fue suministrada por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Pastaza, en colaboración con su Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDYOT), el cual proviene de la administración previa (GADMP, 2020).

Para calcular la producción per cápita (PPC) de residuos, se puede obtener usando la siguiente ecuación:

$$PPC = \frac{W}{P} \quad (1)$$

Donde:

- PPC: Producción per cápita de residuos sólidos, kg/hab*día.
- W: Peso generado de residuos sólidos en un día, kg.
- P: Población que generó esos residuos sólidos en un día, habitantes.

Cabe mencionar que los datos de la producción per cápita del cantón Pastaza fueron proporcionados por el GADM del cantón.

Para la estimación de población futura para el cantón de Pastaza se considera la tasa de crecimiento poblacional y la población inicial actual recopilada por el INEC, a la vez se usa la siguiente ecuación:

$$P_f = P_i * (1 + r)^t \quad (2)$$

Donde:

- Pf: Población futura.

- Pi: Población inicial.
- r: tasa de crecimiento.
- t: tiempo en años a los que se va a proyectar.

2.4. MODELO LANDGEM

El modelo Landfill Gas Emission Model (LandGEM) es una herramienta creada por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), usando el programa de cálculo "Microsoft Excel", usada para la estimación de emisiones de lugares en donde se los residuos sólidos municipales (Madrigal & Quispe, 2018).

Para su cálculo existen distintas entradas necesarias para la estimación como son el área y capacidad del relleno sanitario, cantidad anual de residuos recibidos, constante de tasa de generación de metano (k) y potencial de generación de metano (Lo) y años totales de relleno sanitario de operación, a su vez se consideró un 55% en el contenido de metano del biogás (Dieguez, Carvajal, & Ambuludi, 2022).

LandGEM se basa en una ecuación de descomposición con cinética de primer orden para estimar la generación de biogás, se estima en función del contenido de metano del biogás, con el tiempo, expresada así:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^{n} * \sum_{j=0.1}^{1} k * L_O \left(\frac{M_i}{10}\right) * e^{-kT_{ij}} \quad (3)$$

Donde:

- Q_{CH_4}: es la generación anual de CH_4 en el año del cálculo(m³/año),
- i: es el incremento de tiempo de 1 año,
- j: es el incremento de tiempo de 0.1 años,
- n: es el (año de cálculo) (año inicial de aceptación de residuos),
- k: es la constante general de CH_4 (año 1),
- L_O: es la capacidad potencial de generación de CH_4 (m³/t),
- M_i: es la cantidad de residuos recibidos en el año i (t),
- T_{ij}: es la edad de la sección j de cantidad de residuos Mi aceptado en el año i.

Para la determinación de k y Lo, existen valores determinados para rellenos sanitarios convencionales, en este caso el modelo LandGEM se adaptó a las condiciones climáticas de

la zona en estudio variando los valores de k y Lo (Ojeda & Aguilar, 2011).

Para la estimación del potencial de generación de metano (L_O) se basó en la siguiente fórmula:

$$L_O = 1000 * MCF * DOC * DOC_F * F * \frac{16}{12} \quad (4)$$

Donde:

- L_O: potencial de generación de metano (m^3/ton),
- MCF: factor de corrección de metano,
- DOC: factor de ajuste de la composición de los residuos,
- DOC_F: factor de proporción de carbono disponible convertida en biogás,
- F: fracción de metano contenido en biogás, se asume típicamente 0,5,
- El factor $\frac{16}{12}$ corresponde a la constante estequiométrica.

Para la estimación del índice de generación de metano (k), se realizó previamente una caracterización de los residuos sólidos mediante el método de cuarteo, la cual consiste en la recolección de residuos de la ciudad de manera aleatoria y limitada en la toma de muestras para determinar la cantidad (kg) generada durante 7 días más un día de operación de purga de caracterización. Los tipos de desechos que se necesitaron para determinar el componente "k" son: residuos que se degradan lentamente (papel, textiles, madera, paja), residuos moderadamente degradantes (residuos de parques y jardines), residuos que se degradan rápidamente (residuos de alimentos, lodos de depuradora) y residuos a granel.

Para la realización del cuarteo, primero se vació todo el contenido recolectado formando una pila sobre una zona plana, estos con ayuda de una pala se procedió a homogenizar y se dividió en cuatro partes iguales, siendo señalados por A, B, C, D y se elimina las partes opuestas A y C o B y D, repitiendo esto hasta dejar un mínimo de 50 kg para seleccionar subproductos; seguido se procedió a separar los distintos tipos de residuos según la categoría deseada para este caso de estudio.

Una vez realizado el cuarteo se obtuvo el porcentaje de todos los residuos según el tipo de desechos obtenidos. Seguido se adquirió valores referenciales de "k" según el tipo de residuos y el tipo de clima de la zona de estudio según se detalla en la figura 2. Obtenido los valores referenciales, se procedió a multiplicar cada porcentaje de residuo por el valor

referencial de "k" del mismo, y sumamos todos los valores, esto nos dará un valor de "k" final el cuál se usará en el modelo LandGEM (Alayón, 2020).

Figura 2. Valores de tasa de generación de metano por defecto recomendados (k) bajo el nivel

Tipo de residuo		Zona climática							
		Frío y templado (mat ≤20°c)				Tropical (mat ≥20°c)			
		Seco (map/pet <1)		Húmedo (map/pet >1)		Seco (map <1000 mm)		Húmedo y mojado (map ≥1000 mm)	
		Defecto	Rango	Defecto	Rango	Defecto	Rango	Defecto	Rango
Residuos de degradación lenta	Residuos de papel/ textiles	0.04	0.03-0.05	0.06	0.05-0.07	0.045	0.04-0.06	0.07	0.06-0.085
	Residuos de madera/paja	0.02	0.01-0.03	0.03	0.02-0.04	0.025	0.02-0.04	0.035	0.03-0.05
Residuos de degradación moderada	Otros residuos orgánicos putrescibles (no alimentarios) / de jardines y parques	0.05	0.04-0.06	0.1	0.06-0.1	0.065	0.05-0.08	0.17	0.15-0.2
Residuos de degradación rápida	Residuos de alimentos/lodos de aguas residuales	0.06	0.05-0.08	0.185	0.1-0.2	0.085	0.07-0.1	0.4	0.17-0.7
Residuos a granel		0.05	0.04-0.06	0.09	0.08-0.1	0.065	0.05-0.08	0.17	0.15-0.2

Fuente: Adaptado de (Dieguez, Carvajal, & Ambuludi, 2022)**.**

2.5. Determinación del potencial de generación de electricidad

El potencial de generación de electricidad se puede determinar por medio del metano, por su elevado contenido energético puede ser capturado como una fuente de energía renovable, generado de proporciones de residuos (Serrano & Mejía , 2017). La siguiente ecuación muestra la manera de poder calcular el potencial de generación de electricidad de sistemas de captación de biogás de los rellenos sanitarios:

$$EAG = \frac{Q_{CH4} * 37.2 * EGe * ER * 0.9 * C}{\emptyset} \quad (5)$$

Donde:

- EAG: es la electricidad anual generada (MWh),
- Q_{CH4}: el metano generado (m³/año),
- 37.2 (MJ/m³) es el valor de calentamiento más bajo de metano,
- EGe:es la eficiencia de generación de electricidad del dispositivo de conversión, según varios autores se puede considerar de 35%,
- ER: es la eficiencia de recolección de metano, se consideró de 75%,
- 0.9 es el factor de oxidación del relleno sanitario,
- C: es el factor de capacidad, y se considera como 85%,
- $\emptyset$: es el factor de conversión de MJ a MWh.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 se puede observar la proyección de los residuos sólidos urbanos hasta el año 2041, tomando en cuenta que el relleno sanitario empezó con su operación en el 2011 y se lo proyectó con una vida útil de 30 años (Gaibor, 2017), dando una generación total de residuos sólidos urbanos en toneladas de 378363,2. Para su determinación se empleó solo la población que se beneficia y recibe el servicio de la recolección de residuos sólidos, y se la proyecto el crecimiento de la población para el 2041 con una tasa de crecimiento poblacional anual de la ciudad de Puyo de 3,41; una vez obtenida la proyección poblacional se determinó la generación per cápita(kg/día), la cual consiste en multiplicar la población de cada año por la generación per cápita por persona la cual es 0,642904; por consiguiente se pasaron las unidades de kg a toneladas, y el tiempo se cambió de día a ser anual, siendo toneladas/año y de esta manera obtener la generación de residuos sólidos en toneladas por año desde el 2022 hasta el 2041.

Tabla 2. Proyección de residuos sólidos del relleno sanitario de Puyo

Año	Generación percápita (kg/día)	Generación percapita (ton/día)	Generación (ton/año)
2022	43090,0	43,1	15727,8
2023	43908,7	43,9	16026,7
2024	44743,0	44,7	16331,2

2025	45593,1	45,6	16641,5
2026	46459,4	46,5	16957,7
2027	47342,1	47,3	17279,9
2028	48241,6	48,2	17608,2
2029	49158,2	49,2	17942,7
2030	50092,2	50,1	18283,6
2031	51043,9	51,0	18631,0
2032	52013,8	52,0	18985,0
2033	53002,0	53,0	19345,7
2034	54009,1	54,0	19713,3
2035	55035,2	55,0	20087,9
2036	56080,9	56,1	20469,5
2037	57146,4	57,1	20858,5
2038	58232,2	58,2	21254,8
2039	59338,6	59,3	21658,6
2040	60466,1	60,5	22070,1
2041	61614,9	61,6	22489,4
TOTAL			378363,2

Fuente: Elaboración propia

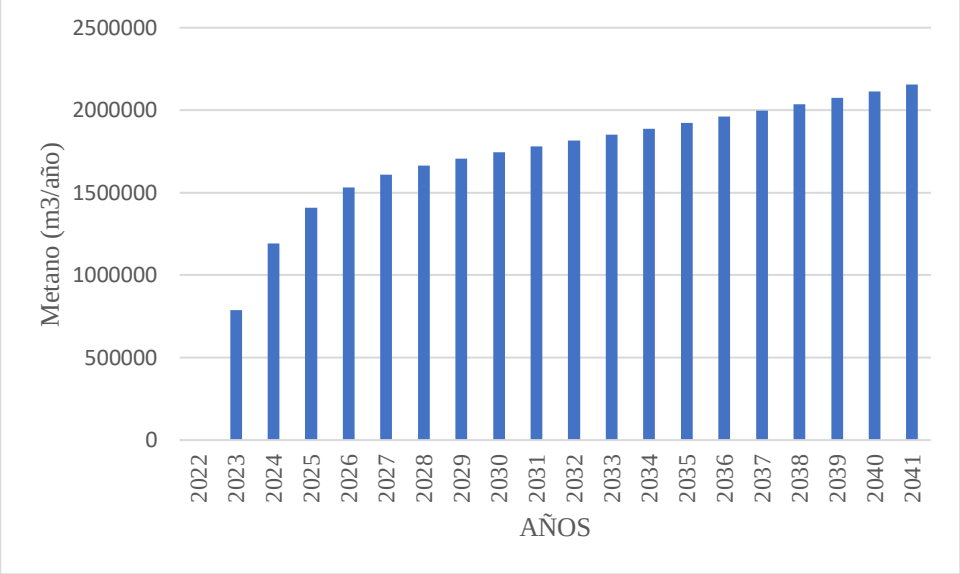
En contraste con el estudio realizado por (Dieguez, Carvajal, & Ambuludi, 2022), en el cual se proyectó una acumulación total de residuos sólidos de 389.489,31 t/año en un periodo de 21 años, este mismo periodo de proyección se utilizó en el presente estudio. Por este motivo, las disparidades entre los resultados no son significativas, lo cual podría atribuirse a similitudes en términos de población, generación de residuos sólidos o patrones de consumo que comparten ambos casos de estudio.

2.6. Cálculo de producción de metano mediante el método LandGEM

Luego de recopilar toda la información necesaria inicial, se procedió a estimar la producción de metano en el relleno sanitario de la ciudad de Puyo, con la metodología (LandGEM) dando un volumen total de metano de 33.248.656,2 m^3/año. A continuación, se muestra sus picos de producción por año.

Se puede notar que la producción más alta de metano es en el último año de operaciones, y es muy probable que su producción siga en ascenso al menos dos años después de su cierre, su comportamiento es muy parecido al estudio realizado en la mancomunidad de Patate-Pelileo, en donde su producción más alta fue 1 año luego del cierre técnico, pero de igual manera luego la producción de biogás se reduce notoriamente para los años consiguientes.

Figura 3. Producción de metano anual del relleno sanitario de la ciudad de Puyo, desde el año 2022-2041 (m³/año)



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4 observamos las medias anuales en donde podemos comparar el presente estudio con otros resultados que se han realizados en distintos lugares del mundo, en donde aplican el modelo LandGEM, unos lo modifican a las condiciones de su área de estudio mientras que otros mantienen los parámetros predeterminados y convencionales recomendados por la EPA. Por ejemplo, en el caso de estudio de (Dieguez, Carvajal, & Ambuludi, 2022) obtuvieron una producción de metano total de 33.070.236,19 m³/año siendo su total anual, con una diferencia de 178.420,01 m³/año a la de este estudio, esto se debe a que las condiciones y parámetros son semejantes entre sí. Por otro tenemos el caso de Juliaca en Perú, donde su producción anual de metano es de 613.472.608,50 m³/año, una cantidad muy distinta a nuestro caso, esto se debe porque es mayor el número de habitantes, así mismo aumenta la generación de RSU y agregar que se usó en el modelo LandGEM

algunos datos predeterminados y convencionales que el sistema nos recomienda.

La diferencia entre el caso de Juliaca y los dos casos referentes, es la generación de residuos debido a que en la primera tiene un valor muy alto lo que potencia la producción de metano; entre el caso de Patate-Pelileo y esta investigación se da por el alto porcentaje de materia orgánica producida y es sabido que mientras mayor residuo orgánico haya en un relleno, mayor serán los niveles de putrefacción y a su vez generación de biogás y metano pero a su vez no es tan alta por la cantidad de generación de residuos ya que no son ciudades con poblaciones tan altas.

Figura 4. Resultados y comparación con otros estudios aplicando el modelo LandGEM para la estimación de metano

Lugar (Ciudad, país)	Autores	Población	Generación de residuos t/día	Producción de CH4 (m^3/año)
Juliaca, San Román, Puno, Perú	Glen Madrigal, Juan Quispe, Yoel Vargas.	225.146	198,26	29.925.493,1
Patate-Pelileo, Ecuador	Robinson Ambuludi, Víctor Carvajal, Karel Diéguez	722.657	48,68	1.653.511,81
Puyo, Ecuador	Artículo presente.	126.741	43,09	1.749.929,27

Fuente: Elaboración propia

Por último se determinó el potencial de generación de electricidad del biogás, el cual nos dio un total de 53628,5 MWh/año, siendo que al segundo año podríamos suministrar energía a 279 hogares que consuman un máximo de 2007,84 kwh/año, estimando a hogares de bajo consumo, estos resultados son muy bajos considerándolo en otras regiones como México, Nigeria y China que producen cantidades enormes de energía, esto es influenciado por la alta generación de los RSU y a su vez el aumento de la población y su desarrollo económico. Considerando el estudio de Patate-Pelileo, en donde se calculó una producción que oscila entre 17693 MWh y 53385 MWh.

Tabla 3. Proyección de la generación de energía eléctrica a partir del biogás producido

Year	Biogás (m3/year)	Energía eléctrica (MWh/año)	No. De casas suministradas al año
2022	0	0	0
2023	295269,065	623	279
2024	530834,956	1120	502
2025	720010,56	1519	681
2026	873165,991	1843	826
2027	998379,564	2107	944
2028	1101944,78	2325	1042
2029	1188765,16	2509	1124
2030	1262661,77	2665	1194
2031	1326612,67	2800	1255
2032	1382939,44	2918	1308
2033	1433452,45	3025	1356
2034	1479563,96	3122	1400
2035	1522376,26	3213	1440
2036	1562750,23	3298	1478
2037	1601358,84	3379	1515
2038	1638728,72	3458	1550
2039	1675272,61	3535	1585
2040	1711314,58	3611	1619
2041	1747109,7	3687	1653
2042	1360650,4	2871	1287

Fuente: Elaboración propia

4. CONCLUSIONES

4.1. Toda la información primaria recolectada, permitió estimar la generación de gases del relleno sanitario de Puyo utilizando el modelo LandGEM, el cual hasta el 2011 dejó de ser un botadero controlado y fue puesto como relleno sanitario teniendo una vida útil de 30 años. La cantidad calculada de metano fue de 33.248.656,2 m^3/año con una media de 1.749.929,27 m^3/año.

4.2. La determinación de energía eléctrica total producida es de 53628,5 MWh/año, la cual puede ser utilizada en la distribución de varios núcleos familiares o a su vez dividirse para los requerimientos del mismo relleno sanitario. Cabe mencionar que la fidelidad de los datos se debe a la calidad de datos disponibles y la selección de los coeficientes correctos

para una adecuada estimación de los valores correspondientes. De igual manera los datos son directamente proporcionales a la cantidad de generación de RSU.

4.3. Los modelos de determinación de la producción de gases ayudan a crear nuevas fuentes de generación de energía más sostenibles y limpias, pero su principal es considerar el posible impacto ambiental generado por los rellenos sanitarios sobre el aire. Para ello la obtención de datos debe ser lo más preciso, adecuarla al tipo de relleno y condiciones del área de estudio, de este modo se reducirá los márgenes de error que se puedan producir al momento de determinarlo.

4.4. Se puede determinar que la producción de metano y la generación de electricidad están vinculadas directamente a la generación de desechos sólidos urbanos y que este depende de los patrones de consumo, el aumento de la población y el desarrollo económico de la ciudad, por ello mientras mayor sea su población y su desarrollo, mayor será la generación, sin dejar alado que de igual manera el tipo de residuos generados también influyen en este proceso, sabiendo que cuanto mayor sea la generación de residuos orgánicos, mayor producción de biogás existirá.

5. RECOMENDACIONES

Al momento de recolectar la información, tratar de que la misma sea de fuentes confiables, ya sea de páginas nacionales o de estudios realizados en la misma zona, debido a que la fiabilidad de los resultados a calcular depende mucho del levantamiento inicial de información recolectada.

Para que las muestras de residuos sean representativas, realizar un tipo de método aleatorio que sea más acorde al estudio.

Una vez recolectado los residuos, evitar que estos se humedezcan o mojen por la presencia de lluvias, debido a que esto influirá en los resultados que se obtengan al momento de realizar el cuarteo.

Siempre usar EPP al momento de realizar el cuarteo, debido a que en los residuos se puede encontrar con todo tipo de basura, ya sea corto punzante, de higiene personal, vidrios o infecciosos.

Para que los resultados sean más precisos a la realidad, se recomienda no usar los valores

determinados que nos ofrece el modelo LandGEM, sesgando así los datos genéricos y consiguiendo datos propios y concisos.

6. REFERENCIAS

Alayón, E. (2020). Guía para la caracterización y cuantificación de residuos sólidos. Bogota.

Andrade, A., & Restrepo, A. (2018). Estimación de biogás de relleno sanitario, caso de estudio: Colombia.

Cabrera, S., & Guevara, A. (2021). Evaluación del potencial de aprovechamiento energético del biogás residual generado por el relleno sanitario complejo ambiental Chasinato de la EPM-GIDSA. Obtenido de https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/33774

Dieguez, K., Carvajal, V., & Ambuludi, R. (2022). Estimacion de gas metano mediante el modelo LandGEM del relleno sanitario municipal de residuos sólidos de Patate-Pelileo, Tungurahua, Ecuador. Pelileo.

GADMP. (2020). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2020-2030. Puyo. Recuperado el 03 de 7 de 2023, de https://puyo.gob.ec/wp-content/uploads/documentos/departamentos/planificacion/pdot/pdot-pastaza-2020-2030.pdf

Gaibor, K. (2017). Propuesta técnica para el cierre del relleno sanitario Municipal del cantón Pastaza. Universidad Nacional de Chimborazo, Puyo. Obtenido de http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/4218/1/UNACH-EC-ING-AMB-2017-0008.pdf

Guzmán, D. (2017). Puyo. Recuperado el 15 de 7 de 2023, de https://maepastaza.files.wordpress.com/2017/05/estudio_de_impacto_ambiental_expost_gestion_integral_de_desechos_peligrosos_en_el_relleno.pdf

Guzmán, D. (2017). Estudio de impacto ambiental expost para la gestión integral de desechos peligrosos en el relleno sanitario de la ciudad de Puyo, cantón Pastaza. Puyo. Recuperado el 1 de 7 de 2023, de https://maepastaza.files.wordpress.com/2017/05/estudio_de_impacto_ambiental_expost_gestion_integral_de_desechos_peligrosos_en_el_relleno.pdf

Ibarra López, B., & Narváez Castro, M. (2020). Análisis de la disposición de los desechos

sólidos y generación de biogas en el relleno sanitario de Ambato, Ecuador.

INAMHI. (2021). Instituto Nacional de Meteorologia e Hidrologia.

INAMHI. (2023). Recolección de datos hidrológicos y meteorológicos. Obtenido de https://www.inamhi.gob.ec/

Lascano, J. (2019). Depuración de lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de Puyo, perteneciente al cantón Pastaza, provincia de Pastaza, utilizando métodos alternativos "Biomasa Residual". Tesis, Universidad Estatal Amazónica, Ciencias de la Vida, Puyo. Recuperado el 1 de 07 de 2023, de https://repositorio.uea.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/834/T.AMB.B.UEA.%20%203273.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Madrigal, G., & Quispe, J. (2018). Calculo de la generación de biogás para el relleno sanitario de la ciudad de Juliaca, utilizando el modelo LandGEM Versión 3.02 de la USEPA y estimación del potencial de producción eléctrica. Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Lima. doi:https://doi.org/10.17162/rictd.v4i2.1096

Ministerio de Salud. (2020). Disposición correcta de la basura: el relleno sanitario. Obtenido de https://www.binasss.sa.cr/poblacion/rellenosanitario.htm

Ministerio del Ambiente. (2017). Porcentaje de residuos solidos no peligrosos en disposicion final adecuada. Obtenido de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Sistema_Estadistico_Nacional/Planificacion_Estadistica/Plan_Nacional_de_Desarrollo_2017_2021/OBJETIVOS/Objetivo-3/3.03-FM-Residuos_solidos_disposicion_final_adecuada-Nov%202018.pdf

Ojeda, S., & Aguilar, Q. (2011). ESTIMACIÓN DE LAS CONSTANTES k Y L0 DE LA TASA DE GENERACIÓN DE BIOGÁS EN SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL EN BAJA CALIFORNIA, MÉXICO. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v28s1/v28s1a7.pdf

Payan, O., & Corea, E. (2019). Propuesta de generación de energía eléctrica a través de turbinas de 10KW usando biogás en la UNAM.Managua. Obtenido de https://repositorio.unan.edu.ni/8274/1/69520.pdf

Raza, D., & Acosta, J. (2021). Planificación ambiental y el reciclaje de desechos sólidos urbanos. Universidad Andina Simón Bolívar, Economía, Sociedad y Territorio, Quito.

Recuperado el 14 de 7 de 2023, de https://www.scielo.org.mx/pdf/est/v22n69/2448-6183-est-22-69-519.pdf

Rodríguez, S. (2019). Residuos Sólidos en Colombia: su manejo es un compromiso de todos.

Salazar, A. (2023). Caracterización del potencial térmico RSU, para la generación de energía eléctrica, utilizando carbonización hidrotérmica. INGENIUS, Lima. Recuperado el 14 de 7 de 2023, de http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/ing/n29/1390-650X-Ingenius-29-00058.pdf

Savino, A., & Solórzano, G. (2018). Perspectiva de la gestion de residuos en America Latina y el Caribe.

Serrano, J., & Mejía , W. (2017). Determinación del Potencial de Generación Eléctrica a partir de Biomasa en Ecuador. Obtenido de https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica/article/view/1592/1252

7. ANEXOS

7.1 MARCO TEÓRICO

7.1.1. Relleno sanitario

Los rellenos sanitarios son el último camino de los residuos sólidos, siendo su disposición final, el cual consiste en depositar todos los desechos en el suelo, el mismo que debe estar recubierto por una geo membrana cuyo fin será el evitar el contacto directo con la superficie de la tierra y captar los lixiviados que se generan por la descomposición de la materia orgánica.

Los beneficios de optar por utilizar un relleno sanitario son la producción de empleos para mano de obra no calificada, puede ubicarse cerca del área urbana, reduciendo costos múltiples como el transporte y supervisión, a la vez permite usar lugares improductivos, los cuales luego se pueden modificar para convertirse en parques o campos de juegos (Ministerio de Salud, 2020).

7.1.2. Modelo LandGEM

El modelo de emisiones de gases de relleno sanitario, LandGEM, fue elaborado por la agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA). Este modelo constituye una herramienta diseñada dentro del software de cálculo Microsoft Excel, destinada a la estimación de la producción de biogás, metano, dióxido de carbono y otros gases. Asimismo, LandGEM presupone que la generación máxima de biogás se alcanzara cuando se logre un estado de equilibrio anaeróbico de la disposición controlada de los residuos sólidos urbanos (RSU) (Cabrera & Guevara, 2021).

7.1.3. Cuarteo

Este procedimiento implica la recolección de una muestra durante un día determinado. Los residuos se disponen sobre una superficie nivelada y pavimentada. A continuación, se crea un círculo alrededor de los residuos y se procede a homogenizar la muestra. Seguidamente, se sigue la metodología establecida para llevar a cabo el proceso de cuarteo (Alayón, 2020).

7.1.4. Biogás

El biogás está compuesto por una variedad de gases, siendo los más prominentes el metano (CH4) y el dióxido de carbono (CO2). Además, se encuentran presentes en cantidades reducidas gases como el amoniaco (NH3), hidrogeno (H2), nitrógeno (N2),

oxigeno (O2) y el ácido sulfhídrico (H2S). La calidad y cantidad del biogás generando en un relleno sanitario varían en función de diversos factores ambientales. Entre estos se incluyen la composición de los residuos sólidos, el contenido de humedad de dichos residuos, las características del sistema de operación del relleno sanitario, las condiciones climáticas y el sistema de extracción de biogás entre otros.(Chávez et al., 2019)

7.1.5. Generación de electricidad a partir del biogás

La estimación de la producción de energía eléctrica a partir de biogás implica la a definición de parámetros esenciales que participan en el proceso de cálculo. En este sentido, se llevó a cabo un análisis detallado de tres modelos matemáticos que permiten calcular el porcentaje de biogás generado en un sitio de disposición de residuos sólidos. Además, se examinaron las diversas tecnologías disponibles que permiten aprovechar este biogás en la generación de energía eléctrica.

En el análisis se consideraron tres modelos que resultan pertinentes para el contexto de estudio. Uno de estos modelos es LandGEM, el cual fue desarrollado por la agencia de protección del medio ambiente de los estados unidos (US.EPA) y es ampliamente reconocido en la industria. Este modelo se basa en dos parámetros esenciales, K (índice de generación de metano) y LO (potencial de generación de metano). Estos valores se determinan mediante parámetros específicos del sitio, tales como temperatura, humedad, precipitaciones, y características propias de los residuos, entre otros. LandGEM proporciona valores de K y LO a través de tablas predefinidas, asumiendo que estos valores permanecen constantes a lo largo del tiempo (Payan & Corea, 2019).

7.1.6. INHAMI

Es el Servicio Meteorológico e Hidrológico Nacional del Ecuador creado por Ley, la misma que tiene la capacidad y obligación de suministrar información vital sobre el clima, el tiempo y los recursos hídricos del pasado, presente y futuro que necesita conocer el país para la protección de la vida humana y los bienes materiales (INAMHI, Instituto Nacional de Meteorologia e Hidrologia, 2021).

7.1.7. Producción Per Cápita (PPC)

Se conoce como la cantidad media de residuos sólidos generados por un habitante (kg/habitante*día), el mismo que se utiliza como indicador en el manejo integral de los residuos en general (Ministerio del Ambiente, 2017).

7.1.8. Residuos Sólidos Urbanos

Residuo se define como cualquier producto en estado sólido, liquido o gaseoso que proviene de un proceso de extracción, transformación o utilización, y al cual su propietario decide abandonar o desechar debido a que carece de valor para el o ya no puede ser empleado para el propósito por el cual fue adquirido o creado.

Los residuos son sustancias u objetos de los cuales el poseedor decide deshacerse o esta legalmente obligado a hacerlo. Estos materiales presentan características de riesgo debido a su inflamabilidad, capacidad de explosión, corrosividad, capacidad infecciosa o radioactividad, o presentan cualquier otra característica que represente un peligro para la vida, la salud de las personas y para el medio ambiente.(Fazenda et al., n.d.)

7.1.9. Composición de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

Los residuos sólidos urbanos están compuestos por una variedad de elementos que incluyen:

- **Vidrio:** Frascos, Botellas, Vidrio plano.
- **Papel y Cartón:** Diarios, Revistas, Embalajes, Envases.
- **Plástico:** Botellas, Tetra Pack, Envases, Juguetes, Envoltorios.
- **Metal:** Latas, Mobiliarias, Construcción, Utensilios.
- **Textil:** Ropa y Retazos.
- **Escombro:** Restos de obra.
- **Orgánico:** Restos de comida, Restos de poda, Restos de jardín.

Existen otros tipos de residuos generados a nivel doméstico que, debido a su toxicidad y peligrosidad son tratados de manera separada y especializada:(Robles, n.d.)

- **Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos:** teléfonos móviles, ordenadores, electrodomésticos, etc.
- **Aceites minerales:** procedentes de los vehículos
- Baterías de vehículos
- Medicamentos
- Pilas
- **Productos químicos:** en forma de barnices, colas, disolventes, ceras, pinturas, etc.
- Termómetros

- Neumáticos
- Lámparas fluorescente, incandescentes y bombillas de bajo consumo.

7.1.10. Metano

El metano ocupa el segundo lugar en la lista de gases de efecto invernadero (GEI) que mas contribuyen al calentamiento global, justo después del dióxido de carbono. Aunque el metano tiene un tiempo de vida atmosférico mas corto que el dióxido de carbono, su potencial de calentamiento global es aproximadamente 21 veces mayor que el dióxido de carbono. Esto significa que, en un periodo de tiempo específico, una cantidad determinada de metano contribuye mas al calentamiento global que la misma cantidad de dióxido de carbono.

Es importante destacar que el biogás puede generar problemas a largo plazo, especialmente debido a su alto nivel de explosividad e inflamabilidad. Si no se evacua adecuadamente, puede dispersarse de manera descontrolada dentro del relleno sanitario y afectar terrenos circundantes, lo que podría llevar a incendios o explosiones. El metano (CH_4) presenta un nivel de explosividad en concentraciones entre el 5% y el 15%, mientras que en concentraciones superiores al 15% se torna inflamable.

Además, el gas de relleno puede tener impactos negativos en el crecimiento saludable de las raíces de las plantas, ya que interrumpe el suministro de oxígeno. Asimismo, el metano puede tener efectos perjudiciales en la salud humana en caso de exposición prolongada, afectando a las personas que trabajen en el relleno, como los obreros y los recicladores, entre otros.(Distrital & José De Caldas, n.d.)

7.2 PARTE EXPERIMENTAL



Anexo 1. Disposición final de los RSU previo al reciclaje.



Anexo 2. Desechos hospitalarios e infecciosos.



Anexo 3. Recolección de los residuos sólidos.



Anexo 4. Clasificación de los residuos tras haber realizado el cuarteo.



Anexo 5. Recicladores in situ



Anexo 6. Separación de los residuos según su clasificación.



Anexo 7. Cartón reciclado producido.



Anexo 8. Residuos sólidos reciclados según su clasificación.