



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS



CARRERA INGENIERÍA BIOQUÍMICA

Determinación de tipos de biomasa con potencial energético para la producción de biogás de los residuos sólidos urbanos (RSU) en la ciudad de Salcedo.

Trabajo de Titulación, modalidad de Proyecto de Investigación, previo a la obtención del Título de Ingeniera Bioquímica, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos

Autor: Sonia Estefanía Garcés Sánchez.

Tutor: Ing. Mg. Manolo Alexander Córdova Suárez

Ambato-Ecuador

Mayo 2017

APROBACIÓN DEL TUTOR

Ing. Mg. Manolo Alexander Córdova Suárez

CERTIFICA:

Que el presente trabajo de titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad.

Ambato, 13 de marzo del 2017



Ing. Mg. Manolo Alexander Córdova Suárez

C.I. 180284250-8

TUTOR

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Sonia Estefanía Garcés Sánchez, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniero Bioquímico son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas.



Sonia Estefanía Garcés Sánchez

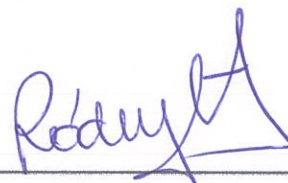
C.I. 180440337-4

AUTOR

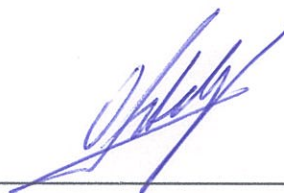
APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DE TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos profesores Calificadores, aprueban el presente Trabajo de Titulación, modalidad Proyectos de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia en Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:



Presidente de Tribunal



Ph. D. Orestes Darío López Hernández
C.I. 175478486-4



Ing. Mg. Isabel Cristina Pazmiño Mayorga
C.I. 171608417-1

Ambato, 26 de abril del 2017

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto de Investigación o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Proyecto dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Sonia Estefanía Garcés Sánchez

C.I. 180440337-4

AUTORA

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a la Virgen María por bendecirme con mis padres, quienes me han forjado para ser la persona que soy en la actualidad, a mis hermanas por ser parte de mis alegrías y por su apoyo incondicional y a mi gran amigo C.R.S.L por nunca dejarme sola durante las dificultades y sobre todo por haberme ayudado a no rendirme.

También agradezco al Ingeniero Manolo Córdova, quien con su ejemplo y apoyo me ha ayudado a cumplir con los objetivos planteados en el trabajo y a crecer como persona y como futura profesional.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PÁGINAS PRELIMINARES

Aprobación del tutor	II
Declaración de autenticidad	III
Aprobación de los miembros de tribunal de grado	IV
Derechos de autor	V
Agradecimiento	VI
Introducción	1

CAPÍTULO I EL PROBLEMA

1.1. Tema	3
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos	4

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes investigativos	5
2.2. Hipótesis	6
2.3. Señalamiento de variables de la hipótesis	6

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales	7
3.2. Métodos	7
3.2.1 Metodología para recopilación de datos de pesaje de RSU	7
3.2.2 Metodología para la determinación del número de muestra	7

3.2.3 Metodología para clasificación del tipo de Residuos generados en el Cantón Salcedo.....	9
3.2.4 Metodología para determinación de la contribución de residuos que se pueden aprovechar para la generación de biogás.	10
3.2.5 Metodología para estimación del potencial energético aprovechable de biomasa	10

CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	14
4.1.1 Determinación de la muestra	14
4.1.2 Clasificación del tipo de residuos generados en el Cantón Salcedo.	14
4.1.3 Determinación de la contribución de residuos que se pueden aprovechar para la generación de biogás.	19
4.1.4 Estimación del potencial energético aprovechable de biomasa	21

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones	26
5.2. Recomendaciones	26
Referencias bibliográficas	27
Anexos.....	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los residuos sólidos urbanos del cantón Salcedo.....	9
Tabla 2. Pesos de los RSU clasificados con sus correspondientes días de muestreo en el periodo diciembre 2016 - febrero 2017.	17
Tabla 3. Contribución porcentual de los tipos de RSU	20
Tabla 4. Comparación del flujo de biogás expresado en m ³ por año a partir de los tipos de biomasa para los años 2015-2030.....	22
Tabla 5. Comparación de la energía producida a partir del biogás en kWh por año a partir de los flujos de biogás para los años 2015-2030.	25
Tabla 6. Historial de pesaje de RSU expresado en toneladas para el periodo 2015-2016.	31
Tabla 7. Comparación de pesos de RSU entre días.....	32
Tabla 8. Valores de k (índice de generación de metano) según la precipitación anual.	32
Tabla 9. Valores de Lo (índice de generación potencial de metano) según la precipitación anual.	33
Tabla 10. Factor de corrección de metano (MCF).	33
Tabla 11. Proyección de pesos de RSU y biomasa expresa en toneladas para 15 años de proyección.....	34
Tabla 12. Flujo de biogás (m ³) a partir del peso de la basura orgánica, con el modelo de biogás ecuatoriano y mexicano.	35
Tabla 13. Energía del biogás (kWh por año) a partir del flujo de biogás de la basura orgánica, con el modelo de biogás ecuatoriano y mexicano.	36
Tabla 14. Flujo de biogás (m ³) a partir del peso de la basura de jardín, con el modelo de biogás ecuatoriano y mexicano.	37
Tabla 15. Energía del biogás (kWh por año) a partir del flujo de biogás de la basura de jardín, con el modelo de biogás ecuatoriano y mexicano.	38
Tabla 16. Flujo de biogás (m ³) a partir del peso del papel, con el modelo de biogás ecuatoriano y mexicano.	39
Tabla 17. Energía del biogás (kWh por año) a partir del flujo de biogás del papel, con el modelo de biogás ecuatoriano y mexicano.	40

Tabla 18. Flujo de biogás (m ³) a partir del peso del cartón, con el modelo de biogás ecuatoriano y mexicano.	41
Tabla 19. Energía del biogás (kWh por año) a partir del flujo de biogás del cartón, con el modelo de biogás ecuatoriano y mexicano.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Promedio de los diferentes tipos de RSU	19
Figura 2. Contribución de tipos de RSU durante el periodo 2016- 2017.....	21
Figura 3. Flujo de producción de biogás a partir de los tipos de biomasa según el modelo ecuatoriano para el periodo 2015-2030.	23
Figura 4. Flujo de producción de biogás a partir de los tipos de biomasa según el modelo mexicano para el periodo 2015-2030.	23
Figura 5. Comparación entre modelos para determinación del flujo de biogás a partir de la basura orgánica.	35
Figura 6. Comparación entre modelos para determinación de la energía del biogás a partir de la basura orgánica.....	36
Figura 7. Comparación entre modelos para determinación del flujo de biogás a partir de la basura de jardín.	37
Figura 8. Comparación entre modelos para determinación de la energía del biogás a partir de la basura de jardín.	38
Figura 9. Comparación entre modelos para determinación del flujo de biogás a partir del papel.	39
Figura 10. Comparación entre modelos para determinación de la energía del biogás a partir del papel.	40
Figura 11. Comparación entre modelos para determinación del flujo de biogás a partir del cartón.	41
Figura 12. Comparación entre modelos para determinación de la energía del biogás a partir del cartón.....	42
Figura 13. Zona de recepción de basura para el reciclaje (tolva) en interior del relleno sanitario.	43
Figura 14. Planta de reciclaje en el interior del relleno sanitario del GAD de Salcedo.....	43
Figura 15. Equipo de protección, implementos de trabajo.	44
Figura 16. Realización de la actividad de pesaje de los distintos tipos de RSU.	44

RESUMEN

Para la parte preliminar del proyecto “Estimación del potencial energético mediante análisis termo-físico de los residuos sólidos urbanos (RSU) de la ciudad de Salcedo y digestión anaerobia con radiación infrarroja”, se determinó los tipos de biomasa con potencial energético para la producción de biogás. Mediante la clasificación de los RSU del cantón, la cuantificación de la contribución porcentual de cada tipo de residuos y la aplicación de modelos matemáticos se pretenden estimar la generación de biogás a partir de estos residuos.

La clasificación de los residuos abarcó 9 tipos de los cuales solo 4 fueron considerados como biomasa (fácil y rápida degradación anaerobia), la contribución de la biomasa fue de 63% del total de los residuos muestreados (720 kg) durante los 36 días.

La aplicación de los modelos matemáticos se realizó con la proyección de los pesos de residuos del 2015 al 2030, siendo el modelo ecuatoriano el que presentó mejor promedio de flujo de producción de biogás anual ($9,62 \times 10^4 \text{ m}^3$) y consecuentemente un valor energético por año de $4,86 \times 10^5 \text{ kWh}$.

Palabras clave: tipos de biomasa, potencial energético, producción de biogás, residuos sólidos, relleno sanitario.

ABSTRACT

In the preliminary part of the project "Estimation of the energetic potential by thermal-physical analysis of urban solid waste (USW) of the city of Salcedo and anaerobic digestion with infrared radiation". A multiple kind of biomass with energetic potential for biogas production from solid urban waste was determined by classifying the USW in this city, the quantification of the percentage contribution of each kind of waste, and the application of the mathematics models for the determination of the generation of flow of biogas.

The classification included 9 types of waste, which only 4 were considered as biomass (easy and fast anaerobic degradation), the contribution of the biomass was 63% of the total of the sampled waste (720 kg) during 36 days.

The application of the mathematics models was carried out with the projection of weights of the waste from 2015 to 2030. The Ecuadorian model had the best annual average of biogas production flow ($9,62 \times 10^4 m^3$) and consequently an energetic value per year of $4,86 \times 10^5 kWh$.

Keywords: types of biomass, energy potential, biogas production, solid waste, landfill.

INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos urbanos (RSU) son provenientes de la actividad humana, por ello guardan relación con el crecimiento y la economía de la población. La disposición de los RSU se la realiza en los rellenos sanitarios de cada Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Municipal. Algunos de los RSU pueden ser considerados como biomasa, siempre y cuando cumplan con la principal característica, que es formar principalmente metano como producto de su descomposición. La biomasa es la fracción biodegradable de productos, desechos y residuos municipales generados en los hogares, comercios e industriales (**Cérda, 2015**). No todos los RSU pueden ser utilizados para la producción de biogás, por ello es necesaria la ejecución previa para una determinación, selección e identificación de los residuos que pueden ser considerados como biomasa. Según **TULAS (2012)** menciona que: “Caracterización de un desecho es un proceso destinado al conocimiento integral de las características estadísticamente confiables del desecho, integrado por toma de muestras, e identificación de los componentes físicos, químicos, biológicos y microbiológicos”.

Como menciona **Carpintero (2006)**: La biomasa podría proporcionar energías sustitutivas a los combustibles fósiles, gracias a agro-combustibles líquidos (como el biodiesel o el bioetanol), gaseosos (gas metano) o sólidos (leña), pero todo depende de que no se emplee más biomasa que la producción neta del ecosistema explotado, no se incurra en otros consumos de combustibles en los procesos de transformación y de que la utilidad energética sea la más oportuna frente a otros usos posibles. La producción de biogás a partir de biomasa favorece significativamente a la reducción de gases que provocan el efecto invernadero y disminuye los olores, propagación de enfermedades por microorganismos generados en las zonas de disposición final de desechos; pero también permite obtener energía para cubrir las necesidades de la población. (**Aguilera, 2016**).

El biogás como biocombustible se genera por la descomposición anaerobia de microorganismo que actúan sobre la materia orgánica y residuos biodegradables

(biomasa) **(Mebarki et al., 2015)**. El desarrollo sustentable, como lo menciona la Conferencia de la Naciones Unidas (1992) sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, se define: “satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades”. Esto se refiere a que la tecnología utilizada para el desarrollo de la humanidad debe ser amigable con el planeta, buscando la reducción y/o reutilización de contaminantes generados por las distintas actividades de la población. Para el cumplimiento de este objetivo se han creado los biocombustibles que en muchos de los casos reemplazan a los combustibles derivados del petróleo, estos biocombustibles son: biodiesel, bioetanol, madera y biogás. El biogás generado por descomposición anaerobia se compone principalmente de metano (CH_4) en un promedio de fracción entre 40-70% y dióxido de carbono (CO_2) y otros compuestos como hidrogeno, sulfuros, trazas de otros gases en menor proporción **(Mebarki et al., 2015)**. El biogás como un combustible alternativo puede ayudar a reducir las emisiones de metano a la atmosfera, el cual es un gas de efecto invernadero que es 21 veces más dañino que el dióxido de carbono, la capacidad calorífica del gas metano es de $9,97 \text{ kW/m}^3$ **(Ponce, 2016)**. Sin embargo el potencial eléctrico del biogás ($5,05 \text{ kWh/m}^3$) se basa en la Ecuación 5 de combustión de metano que a 25°C y con 50% de metano formando el biogás **(Diaz Piñón)**.

Para la estimación del potencial energético de la biomasa para la producción de biogás existen varios modelos matemáticos establecidos como el modelo mexicano, el IPCC y el de EPA. Para la estimación del potencial energético de este proyecto se utiliza el modelo mexicano y el ecuatoriano (variación del modelo mexicano). Ambos modelos de estimación de biogás permiten cuantificar la generación y recuperación de biogás en los depósitos o rellenos sanitarios de cada municipio del país, para lo cual se requiere generar cálculos individuales para cada tipo de RSU considerada como biomasa. Las variables que influyen en los cálculos de generación de biogás son: índice de valoración de metano, factor de corrección de metano, ajustes por impacto de incendios y tipos de biomasa **(Quintana, 2016)**.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Tema

Determinación de tipos de biomasa con potencial energético para la producción de biogás de los residuos sólidos urbanos (RSU) en la ciudad de Salcedo.

1.2. Justificación

Los residuos sólidos urbanos (RSU) generados por la población tienen una disposición final en los rellenos sanitarios de los diferentes Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) Municipales, sin embargo, en algunos de ellos la cantidad de RSU supera a la capacidad para la que fueron creados, por ello la necesidad de usar los RSU biodegradables como materia prima para generar biogás. Hoy en día, el biogás es utilizado a nivel mundial como fuente de combustible alternativo para uso industrial y doméstico. La producción de biogás es considerada como una energía renovable, económica y amigable con el medio ambiente, debido a que se deriva de la descomposición anaerobia, generando muchos beneficios medio ambientales, como la disminución de olores, microorganismos causantes de enfermedades que se propagan por la acumulación de RSU en los rellenos sanitarios.

En la presente etapa del proyecto (etapa 1), se establece un proceso para determinar los tipos de biomasa con potencial energético a partir de los RSU del cantón de Salcedo, como alternativa para la producción de biogás y adicionalmente, la valorización de dichos residuos.

Inicialmente, se recolecta información de la producción mensual de residuos sólidos urbanos. Consecutivamente, se determina el peso muestral diario mediante el método estadístico aleatorio simple (**Ochoa, 2008**) y se designa el horario de captación de la muestra, de acuerdo a los horarios de trabajo de los empleados del relleno sanitario. La clasificación de los RSU generados en el cantón Salcedo se realiza mediante el

vaciamiento del contenido de las fundas de recolección de los residuos, para luego empezar a la separación de los componentes del contenido dependiendo de la clasificación de los residuos sólidos de acuerdo a lo establecido por **Edjabou et al. (2014)**. Finalmente, se registra el peso de cada tipo de residuo sólido. La determinación de la contribución de residuos que se pueden beneficiar para la generación de biogás se basa en el procedimiento expuesto en la Norma Mexicana **(NMX, 1992)**. La estimación del potencial energético de la biomasa se realiza mediante la aplicación de los modelos mexicano y ecuatoriano de biogás, estos modelos se ajustan a las condiciones del proyecto que se realiza en el cantón Salcedo.

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Analizar los distintos tipos de biomasa con potencial energético en los residuos sólidos urbanos.

1.3.2 Objetivos específicos

- Clasificar los residuos sólidos urbanos generados en el cantón Salcedo para aprovechar correctamente los componentes de las mismas.
- Determinar la contribución de cada tipo de residuos para la generación de biogás.
- Evaluar el potencial energético de biomasa (basura orgánica, basura de jardín, papel y cartón) para aprovechar sus beneficios.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes investigativos

La contaminación por residuos sólidos urbanos (RSU) es un problema a nivel mundial, debido que, en muchos países no existe un adecuado tratamiento y/o disposición final en los rellenos o botadores en los que terminan dichos residuos. Esta contaminación tiene estrecha relación con la forma de vida y el número de pobladores de una determinada zona, dicha realidad no es ajena al país por este motivo el Gobierno Nacional del Ecuador a través del Ministerio del Ambiente, en abril del 2010, crea el Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS), con el propósito de promover la gestión de los RSU en los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) Municipales, con visión integral y sostenible, permitiendo la disminución de la contaminación ambiental, promoviendo la preservación de los ecosistemas y mejorando la calidad de vida de la población. **(MAE, 2010).**

El biogás como energía renovable es una alternativa sostenible, por sus tres principales ventajas:

- En primer lugar, es una fuente de energía barata, debido a que, se forma por descomposición de materia orgánica.
- En segundo lugar, su proceso de obtención es rápido, en comparación con el del petróleo.
- En tercer lugar, la producción de este gas respeta el medioambiente, disminuyendo la cantidad de metano (gas invernadero) que se libera al ambiente y como producto secundario de esta obtención resulta abono orgánico residual que puede ser utilizado en la zona agrícola **(Sainz, 1982).**

En Ecuador existe un estudio de modelo de biogás que fue diseñado por Landfill Methane Outreach Program (LMOP) para permitir a los encargados de los rellenos sanitarios del país evaluar la viabilidad y beneficios de la producción de biogás como

energía alternativa, este modelo está basado en el USEPA Modelo de Biogás Mexicano y fue realizado en el relleno de Pichacay en Cuenca y Las Iguanas de Guayaquil, este estudio además, refleja altos niveles de contenido de materia orgánica y de humedad en los RSU de las zonas estudiadas (EPA, 2014).

2.2. Hipótesis

- Hipótesis Nula: Los tipos de biomasa con potencial energético para la producción de biogás de los residuos sólidos urbanos generados en el cantón Salcedo es nula.
- Hipótesis Alternativa: Existen tipos de biomasa con potencial energético para la producción de biogás de los residuos sólidos urbanos generados en el cantón Salcedo.

2.3. Señalamiento de variables de la hipótesis

2.3.1 Variables dependientes:

- Potencial energético de los residuos sólidos urbanos.
- Producción de biogás.

2.3.2 Variables independientes:

- Tipos de biomasa de los residuos sólidos.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

Hojas de registro con la clasificación de residuos sólidos urbanos (RSU), báscula manual (libras/kilogramos), pala, rastrillo, estilete, tijera, equipo de protección personal (overol, botas punta de acero, mascarilla de filtro, guantes, casco/gorra, gafas de protección), cámara fotográfica y computador.

3.2. Métodos

3.2.1 Recopilación de datos de pesaje de RSU

Para el levantamiento de información del estudio, se consideró la información proporcionada por Técnicos del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de Salcedo entre los que constó el registro de datos de peso en kilogramos (kg) de los desechos depositados en el Relleno Sanitario por los vehículos que ingresaron desde el mes de enero del 2015 hasta el mes de diciembre del 2016 (Tabla 6 del anexo A).

3.2.2 Determinación del número de muestra

3.2.2.1 Muestreo probabilístico: método aleatorio simple

Se empleó el método de muestreo aleatorio simple debido a que se ajustó a los requerimientos necesarios. Según **Ochoa (2008)** “Es la técnica de muestreo en la que todos los elementos que forman el universo y que, por lo tanto, están descritos en el marco muestral, tienen idéntica probabilidad de ser seleccionados para la muestra”. A partir de los Historiales de Pesaje y la cantidad de materia orgánica destinada para el compostaje, se determinará el número de muestras a valorar para lo cual se aplica la siguiente ecuación:

$$n = \frac{y^2 * p * q * N}{E^2 * (N - 1) + y^2 * p * q}$$

Ecuación 1.

Donde:

n = tamaño de la muestra.

N = tamaño de la población.

p = probabilidad de ocurrencia.

q = probabilidad de no ocurrencia.

e = error de la muestra.

y = nivel de confianza.

El tamaño de la población comprendió la cantidad de basura que ingresó al relleno sanitario desde enero del 2015 hasta diciembre del 2016, esta información fue proporcionada por los técnicos del GAD de Salcedo (Tabla 6 del anexo A).

La probabilidad de ocurrencia es la relación en % que el evento suceda, es decir, que ingrese la misma cantidad de RSU al relleno. Tomando en cuenta la información (peso en kg) proporcionada por los Técnicos del GAD de Salcedo sobre la materia orgánica que ingresó al relleno durante el periodo 2015-2016, se tomó el 87% de probabilidad de ocurrencia. De igual manera la probabilidad de no ocurrencia es una relación en %, sin embargo, esta probabilidad se refiere a que los eventos no sucedan o se repitan, es decir, que los pesos de los RSU sean distintos en cada ocasión. Esta probabilidad fue el resultado de que al total (100%) se le disminuyó la probabilidad de ocurrencia, por ello el valor tomado en cuenta fue el 13%.

El error muestral seleccionado fue definido como aceptable (entre 1-5%) para la primera etapa del proyecto, debido a que, si el error fuese aumentado podría presentar un incremento significativo en las etapas posteriores. Esto podría provocar que los resultados del proyecto no sean creíbles, a causa de que, si el error muestral es mayor, la confianza de que los resultados se acerquen a valores "reales" disminuiría (Germán, 2014).

El nivel de confianza indica qué tan probable es que el parámetro de población esté dentro del intervalo de confianza. Un nivel de confianza de 95% por lo general es adecuado, para dicho nivel de confianza el valor determinado a usar en la fórmula es de 1,96. (Minitab, 2017).

3.2.2.2 Definición de lugares y horario de muestreo

El muestreo se realizó en el galpón de reciclaje, ubicado en el interior del relleno sanitario, dicho lugar fue proporcionado por el GAD de Salcedo. El muestreo fue de 90 minutos, comprendidos entre las 10:00 y 11:30 am, de lunes a viernes.

3.2.3 Clasificación del tipo de Residuos generados en el Cantón Salcedo

Para la clasificación de los RSU se procedió a vaciar el contenido de las fundas provenientes de los vehículos recolectores, posterior a ello, se separó los componentes del montón dependiendo de la clasificación de los RSU. La información proporcionada por el GAD de Salcedo evidenció que dicha clasificación debió ser modificada, como se muestra en la Tabla 1 de esta sección.

Tabla 1. Clasificación de los residuos sólidos urbanos del cantón Salcedo.

Material	Especificación
Papel	Libros, revistas, periódicos, papel de oficina, cuadernos, retazos de papel,
Cartón	Cajas, envases, tetra pack
Vidrio	Botellas, envases, cristales
Metal	Latas, chatarra
Plásticos	Botella, fundas, espuma flex
Misceláneos combustibles	Residuos sanitarios (pañales, toallas sanitarias), textiles, caucho.
Basura orgánica	Residuos alimenticios
Basura de jardinería	Excrementos de animales, residuo de podas y florícolas
Inertes	Cerámicas, residuos de construcción

Fuente: Edjabou et al. (2014).

3.2.4 Determinación de la contribución de residuos que se pueden aprovechar para la generación de biogás.

Los subproductos ya clasificados se pesaron por separado en la báscula y se registró el resultado. El porcentaje de contribución de los RSU se calculó con la siguiente ecuación 2, basada en la normativa Mexicana de 1992 (NMX, 1992).

$$Ps = \frac{G_1}{G} * 100 \quad \text{Ecuación 2.}$$

Donde:

Ps = porcentaje del subproducto considerado.

G1 = peso del subproducto considerado, expresado en kg.

G = peso total, sumatoria de los días muestreados (720 kg).

3.2.5 Estimación del potencial energético aprovechable de biomasa

Un modelo de biogás permite estimar las ventajas y cuantificar la producción de biogás a partir de biomasa. Las variables que influyen en el modelo se presentan de tal forma que, permiten que la cantidad de biogás calculado se aproxime a la realidad (Ludwig, 2007). La estimación del potencial energético de la biomasa para la producción de biogás, se realizó mediante la aplicación del modelo de biogás mexicano (Cardenas, 2014). Como un agregado, se realizó la comparación de este modelo con el modelo aplicado en el Ecuador (modelo biogás ecuatoriano), el cual es una variante del modelo mexicano, sin embargo, se efectuó este análisis debido a que, se empleó el modelo ecuatoriano como un antecedente al estudio. El modelo de biogás mexicano se basó en la ecuación:

$$Q_{LFG} = \sum_{t=1}^n \sum_{j=0,1}^1 2kLo \left[\frac{Mi}{10} \right] (e^{-kt_{ij}}) (MCF)(F) \quad \text{Ecuación 3.}$$

Donde:

Q_{LFG} = Índice de generación de biogás expresado en m³/año.

i = incremento en tiempo de un año.

n = (año del cálculo) – (año inicial de disposición de RSU).

j = incremento de tiempo en 0,1 años.

k = índice de generación de metano expresado en 1/año.

L_0 = Potencial máximo de generación de metano expresado en m³/ton.

M_i = Masa de RSU (considerados biomasa) dispuestos en el año en ton.

t_{ij} = Edad de RSU depositados expresado en años.

MCF = Factor de corrección para el metano.

F = Factor de ajuste por incendios.

Para la estimación de biogás a partir del modelo ecuatoriano se utilizó la ecuación 4 mencionada por **Urquiza y Siliezar (2009)**.

$$Q = \sum_0^n \frac{1}{\%vol} k L_0 M e^{-k(t-t_{lag})} \quad \text{Ecuación 4.}$$

Donde:

Q = Índice de generación de biogás expresado en m³/año.

n = número de años analizados.

t = tiempo en años desde que la basura fue depositada.

t_{lag} = estimación de tiempo desde la colocación de la basura y generación de metano.

$\%vol$ = estimación de porcentaje volumétrico de metano en el biogás.

k = índice de generación de metano expresado en 1/año.

L_0 = potencial máximo de generación de metano expresado en m³/ton.

M = masa de RSU (considerados biomasa) dispuestos en el año en toneladas.

Según **Tello (2017)**: “El relleno sanitario del GAD de Salcedo entró en funcionamiento el 17 de septiembre del 2009 y su vida útil está programada para cincuenta años”. Sin embargo, por circunstancias técnicas la proyección del estudio se realizó para 15 años a partir del 2015.

Los valores de los índices k (Tabla 8 del anexo C) y L_0 (Tabla 9 del anexo D) son dependientes del índice de precipitaciones (mm/año) de la zona de estudio

(Urrego-Martínez y Rodríguez-Miranda, 2016). El cantón Salcedo se encuentra ubicado en la región interandina o Sierra del país y para esta zona el índice supera los 500 mm/año (INAMHI, 2016).

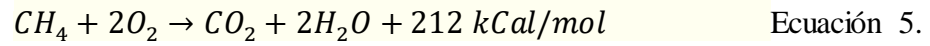
La masa de los RSU expresada en toneladas (ton) a partir del año 2015 hasta 2030 fue proyectada en base a los datos obtenidos de los años 2015-2016, dicha proyección se utilizó para la obtención de los pesos de los tipos de biomasa de estudio (basura orgánica, basura de jardín, cartón y papel), la cual fue multiplicada por el porcentaje de cada tipo de biomasa respectivamente como se muestra en la Tabla 11 del anexo F.

El valor de MCF (Tabla 10 del anexo E) hace referencia a un ajuste a la estimación del potencial de biogás que se basa en el tipo de manejo de descomposición anaeróbica de la biomasa y la profundidad a la que se coloca la biomasa en la disposición final, siendo el valor más alto 1, que significa que la degradación de la biomasa será controlada y totalmente anaerobia. Sin embargo, para el estudio se tomó en cuenta el valor de $MCF=0,8$, lo que significó que la profundidad del lugar de disposición final de la biomasa fue mayor a 5 metros y que se desconoció las condiciones de manejo del sitio con respecto al tratamiento de la biomasa.

El factor de ajuste por incendio F, hace referencia si el sitio ha sido afectado por incendios (Cardenas, 2014), teniendo en cuenta que el relleno sanitario del GAD de Salcedo no ha tenido ningún problema referente a incendios desde el inicio de su funcionamiento se tomó en cuenta el valor de 1.

El modelo mexicano presentó una corrección en la ecuación (la multiplicación de las variables de la ecuación por 2), debido a que, se asumió que la composición de biogás fue aproximadamente 50% metano y 50% dióxido de carbono (Cardenas, 2014). Por ello para el modelo de biogás ecuatoriano el porcentaje volumétrico estimado de metano (% vol.) contenido en el biogás fue de 50%, el uso de dicho valor porcentual fue con fines prácticos de comparación entre los dos modelos.

La transformación del volumen de biogás producido anualmente ($m^3/año$) a energía eléctrica (kW/h) se realizó basándose a la ecuación de combustión de metano que en condiciones normales ($T=25^\circ C$; $P=1$ at; $1m^3 = 40,98 \text{ mol}$; $1kWh = 860 \text{ cal}$) y teniéndose en cuenta que el 50% de metano forma el biogás obtenido (**Diaz Piñón**), la relación para la transformación fue:



$$212 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}} * 40,98 \frac{\text{mol}}{m^3} * \frac{1kWh}{860kcal} = 5,05 \frac{kWh}{m^3}$$

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis y discusión de resultados

4.1.1 Determinación de la muestra

El tamaño de la muestra fue de 20 kg, para su respectivo cálculo se tomó en cuenta los parámetros establecidos en la sección de metodología.

El tamaño de la población utilizado se determinó a partir de los datos del historial del pesaje, dicho tamaño fue de 13465,05 toneladas, para lo cual se consideró la basura que ingresó al relleno desde el mes de enero del 2015 hasta diciembre del 2016 (Tabla 6 del anexo A).

4.1.2 Clasificación del tipo de residuos generados en el Cantón Salcedo.

Los pesos de los distintos tipos de residuos sólidos urbanos (RSU) clasificados a partir de los 20 kg diarios de basura, que ingresaron en el relleno durante el periodo de 36 días comprendido entre los meses de diciembre 2016 a febrero 2017 (Tabla 2 de la sección de resultados), evidenciaron que la variación de los pesos de los tipos de RSU entre días, dependió de la actividad que se realizó en los hogares del cantón Salcedo. Sin embargo, las cantidades más altas que se presentaron casi constantes durante la clasificación fueron: basura orgánica, misceláneos y basura de jardín, con excepción de misceláneos, estos tipos de RSU fueron considerados como biomasa, de este modo fue ventajoso tenerlos en cantidades altas ya que conformaron junto con papel y cartón la materia prima para la producción de biogás.

En el caso de metal e inertes (cerámica, material de construcción) fueron los tipos de RSU que se presentaron en menor cantidad, sus promedios no superaron a 1. Se consideró que este efecto pudo ser producido debido a que, existen personas

que comercializan chatarra metálica y de construcción, o podría deberse a que las personas reúsan estos tipos de materiales como instrumentos decorativos.

El papel, cartón y vidrio presentaron bajas cantidades, sus promedios se encontraron entre 1,10 a 1,40. Estos tipos de RSU son reusables por ello la baja cantidad que presentaron en el relleno. El vidrio tiene cierta dificultad para ser degradado, esto permitió suponer que la población de Salcedo tomó en cuenta la reutilización de materiales antes de su disposición final en el relleno. Los misceláneos (residuos sanitarios, textiles, caucho) y plásticos presentaron un promedio entre 2,50 a 3,00 a pesar de ello la cantidad de estos dos tipos de RSU variaron entre días, siendo que los días festivos (navidad, fin de año, vacaciones) y fines de semana fueron donde mayor cantidad existió, sin embargo, la cantidad de misceláneos superó a la de plásticos, debido a que, por varias ocasiones se encontró textiles en buen estado (ropa y calzado), que se supondría que las personas botan para los recicladores, esto se observó más en la época navideña-fin de año.

La desviación alta nos indica que los datos son muy dispersos entre sí, es decir, que los valores no se repiten con frecuencia y se alejan del valor promedio, quitándole importancia a este último. Al contrario, una desviación baja representa que los valores se repiten y que no poseen gran variabilidad con referencia al valor medio (**Mode, 1990**).

En la Tabla 2 de la sección de resultados se muestran las desviaciones de los diferentes tipos de RSU, en el caso de la basura orgánica y de jardín presentaron mayor desviación (3,34-3,70), lo que significó que los datos fueron muy alejados del valor promedio y dispersos entre sí. Los misceláneos evidenciaron una desviación menor, sin embargo, alta en referencia a los demás tipos de RSU.

En el caso de papel, cartón, vidrio y plásticos mostraron una desviación baja en relación a los anteriores (1,10-1,72), finalmente metal e inerte presentaron la desviación más baja de todas, significando que estos últimos no presentan gran dispersión de datos.

En general la desviación varió entre los distintos tipos de RSU y esto se debió a que, estos pesos dependieron directamente de la actividad diaria, comercial, agrícola e industrial de la población del cantón Salcedo, por ello, en las vacaciones por festividades y días de feria (jueves) se incrementaron los pesos de los mismos, sin embargo, para el estudio se tomó en cuenta principalmente la cantidad de tipos de RSU y su contribución al peso total de RSU que llegaron al relleno sanitario durante los 36 días de muestreo. La comparación de los pesos de tipos de RSU entre días se muestra respectivamente en la Tabla 7 del anexo B.

Tabla 2. Pesos de los RSU clasificados con sus correspondientes días de muestreo en el periodo diciembre 2016 - febrero 2017.

Mes	Días	Pesos de RSU (kg)								
		Papel	Cartón	Vidrio	Metal	Plásticos	Misceláneos	Basura Orgánica	Basura Jardín	Inertes
Diciembre 2016	Martes	2,25	3,83	0,51	0,00	3,83	2,82	1,13	5,63	0,00
	Lunes	0,19	0,10	1,43	0,10	2,38	6,48	8,57	0,48	0,29
	Martes	0,52	0,70	2,17	0,09	2,17	5,65	3,91	4,78	0,00
	Miércoles	0,10	1,43	0,48	0,10	4,76	7,14	4,57	0,95	0,48
	Jueves	1,36	1,36	0,00	0,45	4,09	0,45	3,64	8,64	0,00
	Viernes	4,10	1,90	7,62	0,95	0,67	0,95	0,95	2,86	0,00
	Lunes	0,50	0,50	3,50	1,00	2,50	5,00	6,00	1,00	0,00
	Martes	5,00	0,00	0,00	0,00	7,00	5,00	3,00	0,00	0,00
	Miércoles	2,09	2,17	0,00	0,43	5,65	3,48	6,09	0,00	0,09
	Jueves	2,50	2,00	1,00	1,00	5,50	2,00	3,00	3,00	0,00
	Viernes	0,97	0,00	0,10	0,39	2,91	0,00	9,71	5,83	0,10
Enero 2017	Lunes	1,15	1,54	1,54	0,77	3,08	4,62	6,15	0,77	0,38
	Martes	2,50	1,50	0,50	0,00	3,50	4,00	6,00	2,00	0,00
	Miércoles	2,15	1,46	0,00	0,78	2,93	1,95	8,78	1,95	0,00
	Jueves	0,67	5,33	0,67	0,13	4,67	6,67	1,33	0,00	0,53
	Viernes	0,97	0,48	0,10	0,10	5,80	0,97	11,59	0,00	0,00
	Lunes	1,21	0,16	0,00	0,00	3,24	3,24	2,43	9,72	0,00
	Martes	1,18	0,24	0,00	0,59	4,14	6,75	2,37	4,73	0,00
	Miércoles	1,26	0,00	0,17	0,08	1,67	0,00	1,67	15,06	0,08

	Jueves	2,13	2,13	0,09	0,00	4,68	8,51	2,47	0,00	0,00
	Viernes	0,08	1,27	1,27	0,08	1,27	0,84	15,19	0,00	0,00
	Lunes	0,40	0,40	0,40	0,40	0,80	2,40	5,60	8,00	1,60
	Martes	1,24	0,08	0,41	0,83	2,49	0,00	14,94	5,00	0,00
	Miércoles	0,00	0,00	2,78	2,22	1,67	3,00	12,00	4,00	0,00
	Jueves	0,08	0,08	0,08	0,15	2,31	2,31	12,31	6,00	0,00
	Viernes	0,00	0,16	0,00	0,08	0,00	2,50	7,00	9,05	0,00
	Lunes	0,49	0,49	0,69	0,49	0,49	3,00	8,82	3,43	0,20
	Martes	0,96	0,67	0,96	0,87	0,48	2,00	8,27	2,92	0,10
	Miércoles	1,75	0,87	1,14	1,05	0,70	1,50	8,11	2,45	0,26
	Jueves	1,24	1,24	1,66	0,83	1,24	2,00	7,05	2,07	0,08
	Viernes	1,17	1,40	1,17	0,54	1,56	2,00	8,61	2,00	0,16
	Lunes	0,75	1,50	1,72	0,90	3,00	2,50	7,24	2,85	0,07
	Martes	2,37	1,34	2,37	0,79	2,77	2,00	6,00	3,00	0,08
Febrero 2017	Miércoles	1,68	1,60	2,27	1,26	2,10	1,00	5,50	3,36	0,08
	Jueves	1,96	1,80	1,57	0,78	1,96	1,50	6,00	5,00	0,24
	Viernes	1,70	1,64	1,57	1,26	1,76	1,50	5,35	2,14	0,20
	Total	48,67	41,39	39,91	19,51	99,76	105,72	231,37	128,67	5,01
	Promedio	1,35	1,15	1,11	0,54	2,77	2,94	6,43	3,57	0,14
	Desviación	1,10	1,11	1,44	0,50	1,71	2,21	3,70	3,34	0,29

La comparación grafica entre los promedios de los distintos tipos de RSU (Figura 1), muestra que existieron cantidades superiores de basura orgánica y de jardín que superaron los promedios de los demás, durante los 36 días de muestreo.

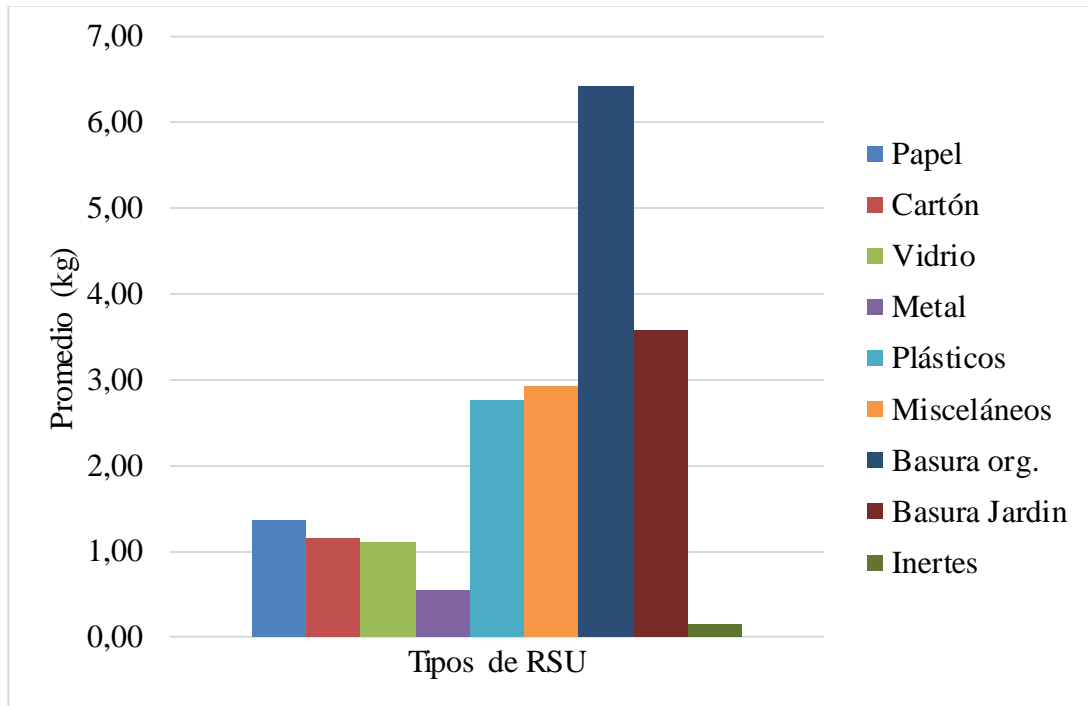


Figura 1. Promedio de los diferentes tipos de RSU

4.1.3 Determinación de la contribución de residuos que se pueden aprovechar para la generación de biogás.

El metal, vidrio, misceláneos, plástico e inerte son tipos de RSU que no son considerados biomasa, por lo que su porcentaje de contribución no influyó directamente en la producción de biogás a partir de los RSU considerados biomásicos. Sin embargo, si influyeron en el peso total de RSU.

La biomasa (cartón, papel, basura orgánica y jardín) representó el 63% del peso total. Se consideró que la producción de biogás es factible, debido que la biomasa que se necesita como materia prima para su producción, representó 450,9 kg del total de RSU muestreados (720 kg) durante 36 días comprendidos de lunes a viernes, incluyendo la semana de vacaciones (navidad y fin de año).

Tabla 3. Contribución porcentual de los tipos de RSU

RSU	Contribución (%)
Papel	6,76
Cartón	5,75
Vidrio	5,54
Metal	2,71
Plástico	13,86
Misceláneos	14,68
Basura orgánica	32,13
Basura jardín	17,87
Inertes	0,70

En la Figura 2 se muestra que los materiales inertes, vidrio, metal son los de menor porcentaje (1-5%), sin embargo, su influencia no fue tan significativa, pero por su baja contribución es presumible asumir que fueron re-utilizados en diferentes aspectos.

Los misceláneos y plásticos presentaron una contribución considerable (ambos del 14%), los plásticos, sin embargo, fueron comercializados por las personas del reciclaje y no ingresaron a la descomposición final en el relleno, pero en el caso de los misceláneos los recicladores recogieron los de tipo textil y caucho para distintos usos, como fue el caso de la ropa y zapatos que fueron aprovechados por ellos para uso personal o comercialización, pero los misceláneos de tipo sanitario fueron enviados a la degradación en el depósito del relleno.

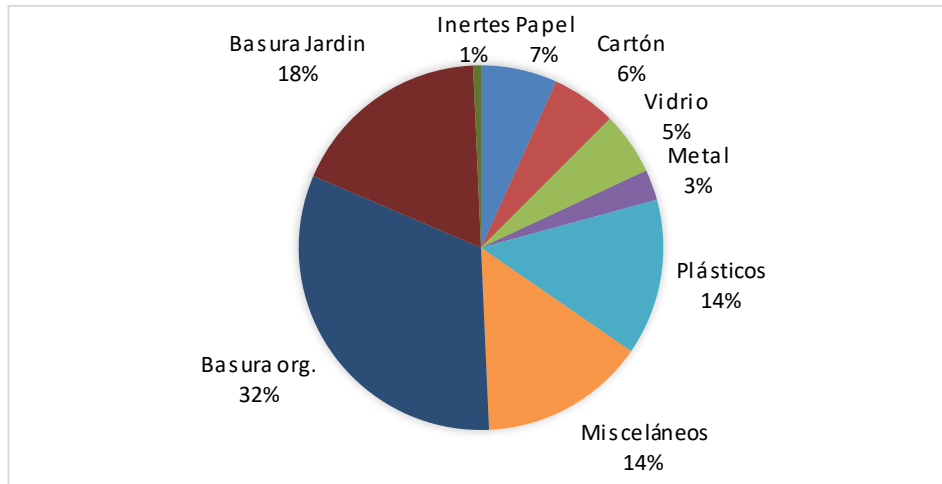


Figura 2. Contribución de tipos de RSU durante el periodo 2016- 2017.

4.1.4 Estimación del potencial energético aprovechable de biomasa

Para la estimación del potencial energético aprovechable de biomasa para producir biogás se utilizó la contribución porcentual de biomasa. Este porcentaje permitió predecir los posibles valores que se pueden obtener para la generación de biogás durante el tiempo proyectado (15 años) a partir del 2015. Los pesos anuales de RSU fueron obtenidos a partir de información secundaria proporcionada por los técnicos del GAD de Salcedo. Los pesos de RSU y los de biomasa se debieron transformar a toneladas para la aplicación de los modelos de biogás, obteniéndose de esta manera los datos mostrados en la Tabla 11 del anexo F.

La aplicación de los modelos mexicano y ecuatoriano para la determinación del flujo de generación de biogás, fueron aplicados con pesos de biomasa proyectados para el periodo de 15 años (2015-2030). La generación de biogás que se obtuvo mediante la aplicación del modelo mexicano, en promedio fue de $5,26 \times 10^3$ m³ por año, sin embargo, para el modelo ecuatoriano, el flujo de biogás promedio fue de $9,62 \times 10^4$ m³ por año. Los dos promedios fueron el resultado de la sumatoria de los valores individuales del flujo de biogás de basura orgánica, basura de jardín, papel y cartón. Los valores individuales del flujo de producción de biogás, obtenidos posterior a la aplicación de los modelos mexicano y ecuatoriano para los distintos tipos de biomasa se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Comparación del flujo de biogás expresado en m³ por año a partir de los tipos de biomasa para los años 2015-2030.

Años	Basura orgánica		Basura de jardín		Papel		Cartón	
	Modelo Ecuador	Modelo México	Modelo Ecuador	Modelo México	Modelo Ecuador	Modelo México	Modelo Ecuador	Modelo México
0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
2015	2,02E+04	1,84E+03	1,14E+04	1,04E+03	4,43E+03	4,03E+02	3,79E+03	3,46E+02
2016	4,13E+04	3,76E+03	2,32E+04	2,12E+03	9,04E+03	8,23E+02	7,75E+03	7,06E+02
2017	6,32E+04	5,40E+03	3,56E+04	3,04E+03	1,38E+04	1,18E+03	1,19E+04	1,01E+03
2018	8,60E+04	6,88E+03	4,84E+04	3,87E+03	1,88E+04	1,50E+03	1,61E+04	1,29E+03
2019	1,10E+05	8,21E+03	6,16E+04	4,62E+03	2,40E+04	1,80E+03	2,05E+04	1,54E+03
2020	1,34E+05	9,41E+03	7,54E+04	5,30E+03	2,93E+04	2,06E+03	2,51E+04	1,77E+03
2021	1,59E+05	1,05E+04	8,96E+04	5,90E+03	3,48E+04	2,29E+03	2,99E+04	1,97E+03
2022	1,85E+05	1,14E+04	1,04E+05	6,43E+03	4,06E+04	2,50E+03	3,48E+04	2,14E+03
2023	2,12E+05	1,23E+04	1,19E+05	6,90E+03	4,64E+04	2,68E+03	3,98E+04	2,30E+03
2024	2,40E+05	1,30E+04	1,35E+05	7,32E+03	5,25E+04	2,85E+03	4,50E+04	2,44E+03
2025	2,69E+05	1,36E+04	1,51E+05	7,67E+03	5,88E+04	2,98E+03	5,04E+04	2,56E+03
2026	2,98E+05	1,42E+04	1,68E+05	7,98E+03	6,52E+04	3,10E+03	5,59E+04	2,66E+03
2027	3,29E+05	1,46E+04	1,85E+05	8,24E+03	7,19E+04	3,20E+03	6,16E+04	2,75E+03
2028	3,60E+05	1,50E+04	2,02E+05	8,45E+03	7,87E+04	3,29E+03	6,74E+04	2,82E+03
2029	3,92E+05	1,53E+04	2,20E+05	8,62E+03	8,57E+04	3,35E+03	7,34E+04	2,87E+03
2030	4,24E+05	1,56E+04	2,39E+05	8,76E+03	9,29E+04	3,41E+03	7,96E+04	2,92E+03

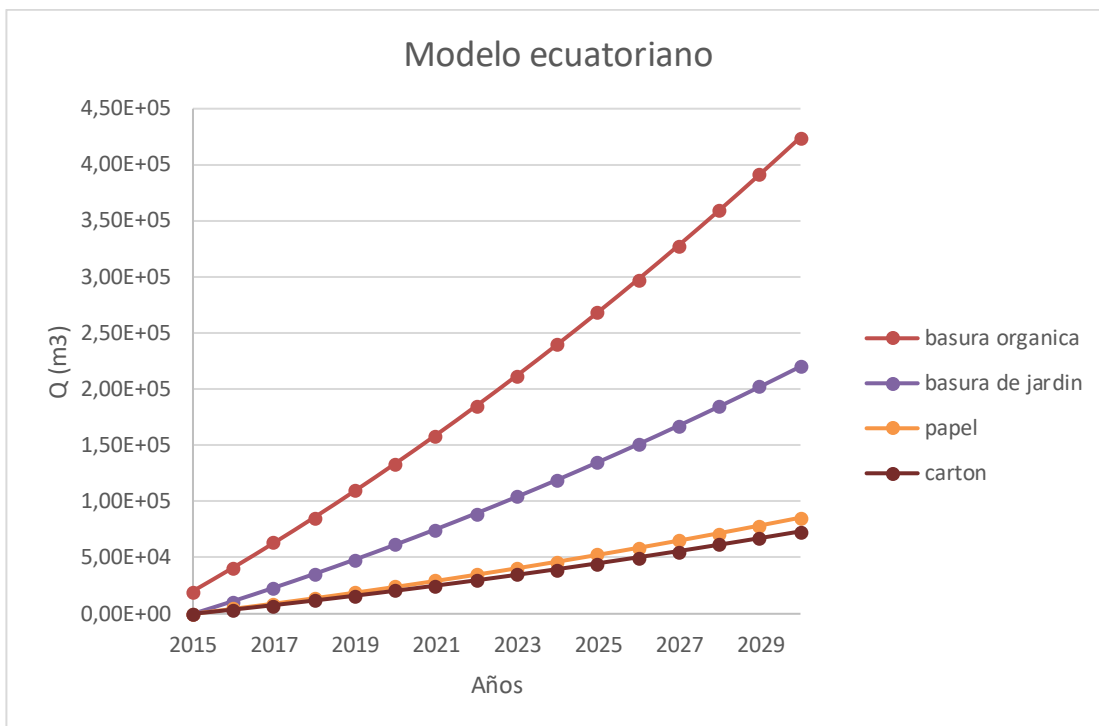


Figura 3. Flujo de producción de biogás a partir de los tipos de biomasa según el modelo ecuatoriano para el periodo 2015-2030.

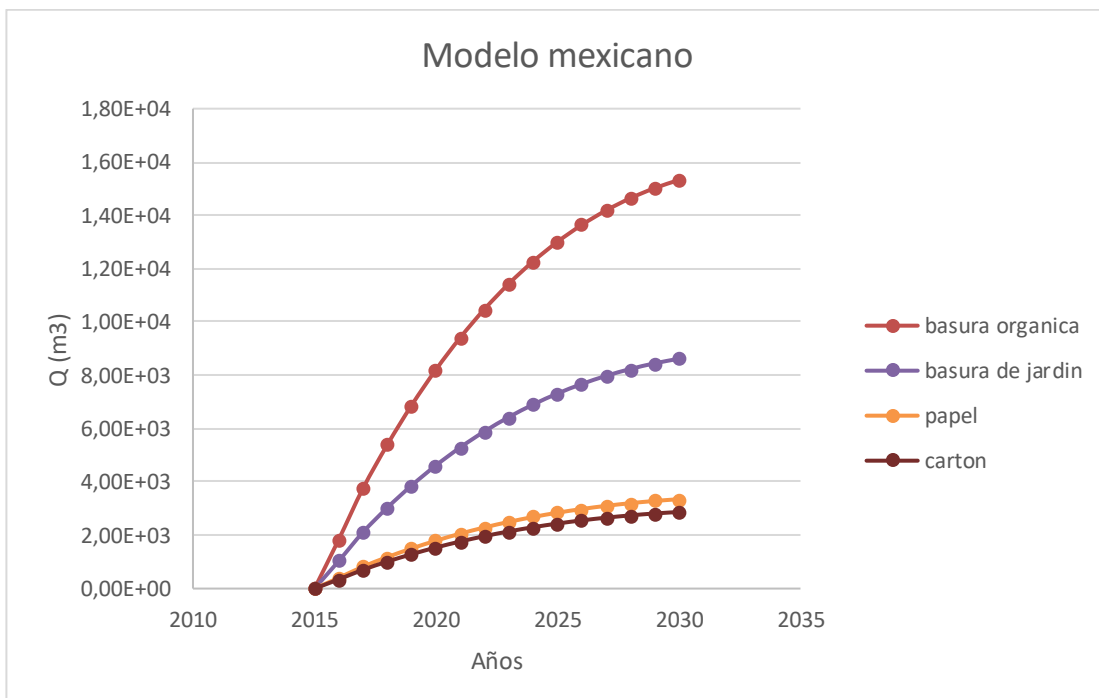


Figura 4. Flujo de producción de biogás a partir de los tipos de biomasa según el modelo mexicano para el periodo 2015-2030.

Como se muestra en las Figura 3 y 4 de esta sección, la contribución porcentual definida influyó directamente en la obtención del flujo de producción de biogás. Los valores más altos fueron de la basura orgánica, que representó el 32% de la contribución de los pesos de los residuos, los demás tipos de biomasa presentaron valores de flujo de biogás acorde a sus respectivos porcentajes. En general, al comparar el modelo mexicano con el ecuatoriano, se evidenció que existió mayor flujo de producción de biogás en el modelo ecuatoriano. En el modelo mexicano se corrigió el flujo de biogás con el factor de corrección de metano (MCF) que para el estudio fue 0,8. Para la comparación de los modelos no se tomó en cuenta la incidencia de los tipos de biomasa.

A pesar de las diferencias que existieron entre los modelos utilizados, ambos determinaron que el porcentaje de metano formado del biogás fue de 50%, este porcentaje influyó en el valor energético (5,05 kW/h) por el que el flujo de producción de biogás debió multiplicarse, con el fin de transformar el flujo (m^3) en valores energéticos (kWh).

El valor energético tuvo una relación directamente proporcional con el flujo de biogás producido a partir de la biomasa, por ello existió mayor producción de energía con el modelo ecuatoriano. El promedio de energía con el modelo mexicano fue de $2,66 \times 10^4$ kWh por año, mientras que para el modelo ecuatoriano fue $4,86 \times 10^5$ kWh por año, la diferencia entre los dos promedios fue evidente, demostrando la influencia del factor de corrección de metano en la aplicación del modelo mexicano y su directa afectación con la energía.

Para ambos casos (modelo ecuatoriano y mexicano), los valores obtenidos fueron significativos, demostrando que la biomasa que ingresa al relleno sanitario podría ser utilizada como materia prima para la producción de biogás como energía alternativa. Los valores individuales de la energía a partir del flujo de producción de biogás obtenidos para los distintos tipos de biomasa se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Comparación de la energía producida a partir del biogás en kWh por año a partir de los flujos de biogás para los años 2015-2030.

Años	Basura orgánica		Basura de jardín		Papel		Cartón	
	Modelo	Modelo	Modelo	Modelo	Modelo	Modelo	Modelo	Modelo
	Ecuador	México	Ecuador	México	Ecuador	México	Ecuador	México
0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
2015	1,02E+05	9,31E+03	5,75E+04	5,24E+03	2,24E+04	2,04E+03	1,92E+04	5,24E+03
2016	2,09E+05	1,90E+04	1,17E+05	1,07E+04	4,56E+04	4,16E+03	3,91E+04	1,07E+04
2017	3,19E+05	2,73E+04	1,80E+05	1,53E+04	6,99E+04	5,96E+03	5,99E+04	1,53E+04
2018	4,34E+05	3,47E+04	2,44E+05	1,95E+04	9,50E+04	7,60E+03	8,14E+04	1,95E+04
2019	5,53E+05	4,15E+04	3,11E+05	2,33E+04	1,21E+05	9,07E+03	1,04E+05	2,33E+04
2020	6,77E+05	4,75E+04	3,81E+05	2,67E+04	1,48E+05	1,04E+04	1,27E+05	2,67E+04
2021	8,04E+05	5,29E+04	4,52E+05	2,98E+04	1,76E+05	1,16E+04	1,51E+05	2,98E+04
2022	9,36E+05	5,78E+04	5,27E+05	3,25E+04	2,05E+05	1,26E+04	1,76E+05	3,25E+04
2023	1,07E+06	6,20E+04	6,03E+05	3,49E+04	2,35E+05	1,36E+04	2,01E+05	3,49E+04
2024	1,21E+06	6,57E+04	6,82E+05	3,69E+04	2,65E+05	1,44E+04	2,27E+05	3,69E+04
2025	1,36E+06	6,89E+04	7,63E+05	3,87E+04	2,97E+05	1,51E+04	2,54E+05	3,87E+04
2026	1,51E+06	7,16E+04	8,47E+05	4,03E+04	3,29E+05	1,57E+04	2,82E+05	4,03E+04
2027	1,66E+06	7,39E+04	9,33E+05	4,16E+04	3,63E+05	1,62E+04	3,11E+05	4,16E+04
2028	1,82E+06	7,59E+04	1,02E+06	4,27E+04	3,97E+05	1,66E+04	3,41E+05	4,27E+04
2029	1,98E+06	7,74E+04	1,11E+06	4,35E+04	4,33E+05	1,69E+04	3,71E+05	4,35E+04
2030	2,14E+06	7,86E+04	1,21E+06	4,42E+04	4,69E+05	1,72E+04	4,02E+05	4,42E+04

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La clasificación y cuantificación de los residuos sólidos urbanos generados en el cantón Salcedo, permitió evidenciar que la cantidad de residuos es proporcional al número de habitantes de la zona, sus actividades comerciales y cotidianas, por lo cual en los días de descanso presentaron un incremento significativo en la cuantificación individual.
- La determinación de la contribución de cada tipo de residuos sólidos, evidenció que en el cantón Salcedo existió un 63% de biomasa, la contribución más significativa de esta fue el 32% de basura orgánica, 18% de basura de jardín; a pesar de ello los otros tipos de residuos representaron el 47%, de los cuales plástico y misceláneos fueron los de mayor porcentaje (14%).
- El potencial energético del biogás obtenido a partir de la biomasa, fue evaluado mediante la comparación de los modelos de biogás mexicano y ecuatoriano. Para ello se proyectaron los pesos de los residuos a partir del 2015 hasta el 2030. El modelo ecuatoriano presentó que mayor promedio de flujo de generación anual de biogás ($9,62 \times 10^4 m^3$) y valor energético por año ($4,86 \times 10^5 kWh$).

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda analizar la relación carbono-nitrógeno que poseen los residuos considerados biomasa.
- Analizar el uso del biogás como energía alternativa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, E. (2016). Producción de biogas a partir de Biomasa. *Revista Científica de FAREM-Estelí. Medio ambiente, tecnología y desarrollo humano.*, 17, 11-22.
- Cardenas, P. (2014). *Estimación de biogás y lixiviados generados en sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos del Estado de México.* Instituto Politécnico Nacional, Mexico.
- Carpintero, O. (2006). Biocombustibles y uso energético de la biomasa: un análisis crítico. Disponible en <http://habitat.aq.upm.es/bioc/aocar.html>
- Cérda, E. (2015). Energía obtenida a partir de biomasa. *Cuadernos económicos de ICE*, 83, 117-140.
- Diaz Piñón, M. Cómo evaluar los digestores de biogás. Consultado el 15/02/2017, Disponible en <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia50/HTML/Articulo07.htm>
- Edjabou, M. E., Jensen, M. B., Götze, R., Pivnenko, K., Petersen, C., Scheutz, C. y Astrup, T. F. (2014). Municipal solid waste composition: Sampling methodology, statistical analyses, and case study evaluation. *ELSEVIER*.
- EPA. (2014). Modelo de Biogás Ecuador. Consultado el 4/02/2017, Disponible en <http://epaglobalmethane-stage.icfwebservices.com/lmop/international/ecuador.html>
- Germán, D. (2014). Margen de error. Consultado el 10/2/2017, Disponible en <http://bpocentrodecomercio.blogspot.com/2014/09/margen-de-error.html>
- INAMHI. (2016). Boletín climatológico anual 2015. Quito: INAMHI.
- Ludwig, V. (2007). Manual de usuario modelo centroamericano de biogás. *U.S. EPA*.

- MAE. (2010). *Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos*. Disponible en <http://www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/>.
- Mebarki, B., Adouane, B., Khaldi, F., Dehimi, S. y Haddad, D. (2015). Theoretical estimation of the production of biogas from the landfill of Batna city and its electrical conversion by a SOFC. *Science: International Journal of Hydrogen Energy*.
- Minitab. (2017). Nivel de confianza. Consultado el 10/2/2017, Disponible en <http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/introductory-concepts/confidence-interval/confidence-level/>
- Mode, E. B. (1990). *Elementos de probabilidad y estadística*. USA: Reverte.
- NMX. (1992). NMX-AA-22-1985: Protección al ambiente - Contaminación del suelo -Residuos Sólidos Municipales - Selección y Cuantificación de subproductos (Vol. 22). Mexico.
- Ochoa, C. (2008). Muestreo probabilístico: Muestreo aleatorio simple. Consultado el 04/11/2016, Disponible en <http://www.netquest.com/blog/es/blog/es/muestreo-probabilistico-muestreo-aleatorio-simple>
- Ponce, E. (2016). Métodos sencillos en obtención de biogás rural y su conversión en electricidad. *IDESIA*, 34.
- Quintana, S. (2016). Modelo mexicano para la estimación de biogás.
- Sainz, J. (1982). El biogás, una fuente de energía barata que se nutre de los desechos domésticos e industriales. Consultado el 04/02/2017, Disponible en http://elpais.com/diario/1982/12/27/sociedad/409791602_850215.html
- Tello, I. M. (2017). Vida útil del relleno. In E. Garcés (Ed.).
- TULAS. (2012). Políticas básicas ambientales del Ecuador. Ecuador.
- Urquiza, R. y Siliezar, C. (2009). *User's Manual Ecuador Landfill Gas Model VI.0*. Ministry for the Environment

Ministry for Urban Development and Housing Government of Ecuador. EPA.

Urrego-Martínez, E. y Rodríguez-Miranda, J. P. (2016). Aplicación de las metodologías EPA, mexicano e IPCC para la estimación de biogás, caso de estudio relleno sanitario Doña Juana, Bogotá - Colombia. *Universidad y Salud*, 2.

ANEXOS

ANEXO A

Tabla 6. Historial de pesaje de RSU expresado en toneladas para el periodo 2015-2016.

	Meses	RSU	Materia Orgánica
2015	Enero	570,50	162,89
	Febrero	828,35	120,31
	Marzo	574,16	124,76
	Abril	535,90	77,75
	Mayo	563,61	36,85
	Junio	553,95	40,29
	Julio	564,57	40,95
	Agosto	532,21	48,49
	Septiembre	356,45	24,67
	Octubre	486,24	63,57
	Noviembre	553,76	59,39
	Diciembre	476,17	168,44
2016	Enero	543,63	33,90
	Febrero	455,48	18,78
	Marzo	492,45	20,31
	Abril	642,24	39,26
	Mayo	654,92	20,84
	Junio	696,66	12,02
	Julio	634,38	0,00
	Agosto	614,52	0,00
	Septiembre	590,12	17,31
	Octubre	488,55	195,69
	Noviembre	561,15	295,97
	Diciembre	495,09	178,46
TOTAL		13465,0516	1800,884

ANEXO B

Tabla 7. Comparación de pesos de RSU entre días.

Tipos de RSU	Pesos (kg)				
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
Papel	4,70	16,04	9,01	9,94	8,98
Cartón	4,68	8,36	7,54	13,95	6,85
Vidrio	9,28	6,93	6,83	5,06	11,82
Metal	3,65	3,16	5,92	3,36	3,41
Plásticos	15,48	26,38	19,48	24,45	13,96
Misceláneos	27,23	28,21	18,07	23,44	8,76
Basura orgánica	44,82	45,61	46,73	35,80	58,41
Basura jardín	26,24	28,07	27,77	24,71	21,87
Inerte	2,54	0,18	0,99	0,85	0,45
Total	138,63	162,95	142,34	141,56	134,52

ANEXO C

Tabla 8. Valores de k (índice de generación de metano) según la precipitación anual.

Precipitación anual (mm/año)	k (por año)
0-249	0,040
250-499	0,050
500-999	0,065
> 1000	0,080

Fuente: (Urrego-Martínez y Rodríguez-Miranda, 2016)

ANEXO D

Tabla 9. Valores de *Lo* (índice de generación potencial de metano) según la precipitación anual.

Precipitación anual (mm/año)	Lo (m³/año)
0-249	60
250-499	80
≥ 500	84

Fuente: (Urrego-Martínez y Rodríguez-Miranda, 2016)

ANEXO E

Tabla 10. Factor de corrección de metano (*MCF*).

Manejo de sitio	Profundidad < 5m	Profundidad ≥ 5m
Sin manejo	0,40	0,80
Con manejo	0,80	1,00
Semi- aerobio	0,40	0,50
Condición desconocida	0,40	0,80

Fuente: (Cardenas, 2014)

ANEXO F

Tabla 11. Proyección de pesos de RSU y biomasa expresa en toneladas para 15 años de proyección.

Año	RSU	Basura orgánica	Basura jardín	Papel	Cartón
2015	6595,87	2110,68	1187,26	461,71	395,75
2016	6869,18	2198,14	1236,45	480,84	412,15
2017	7142,49	2285,60	1285,65	499,97	428,55
2018	7415,80	2373,06	1334,84	519,11	444,95
2019	7689,12	2460,52	1384,04	538,24	461,35
2020	7962,43	2547,98	1433,24	557,37	477,75
2021	8235,74	2635,44	1482,43	576,50	494,14
2022	8509,05	2722,90	1531,63	595,63	510,54
2023	8782,36	2810,36	1580,83	614,77	526,94
2024	9055,67	2897,82	1630,02	633,90	543,34
2025	9328,99	2985,28	1679,22	653,03	559,74
2026	9602,30	3072,74	1728,41	672,16	576,14
2027	9875,61	3160,19	1777,61	691,29	592,54
2028	10148,92	3247,65	1826,81	710,42	608,94
2029	10422,23	3335,11	1876,00	729,56	625,33
2030	10695,54	3422,57	1925,20	748,69	641,73

ANEXO G

Tabla 12. Flujo de biogás (m³) a partir del peso de la basura orgánica, con el modelo de biogás ecuatoriano y mexicano.

Años	Modelo ecuatoriano	Modelo mexicano
0	0	0
2015	2,02E+04	1,02E+05
2016	4,13E+04	2,09E+05
2017	6,32E+04	3,19E+05
2018	8,60E+04	4,34E+05
2019	1,10E+05	5,53E+05
2020	1,34E+05	6,77E+05
2021	1,59E+05	8,04E+05
2022	1,85E+05	9,36E+05
2023	2,12E+05	1,07E+06
2024	2,40E+05	1,21E+06
2025	2,69E+05	1,36E+06
2026	2,98E+05	1,51E+06
2027	3,29E+05	1,66E+06
2028	3,60E+05	1,82E+06
2029	3,92E+05	1,98E+06
2030	4,24E+05	2,14E+06

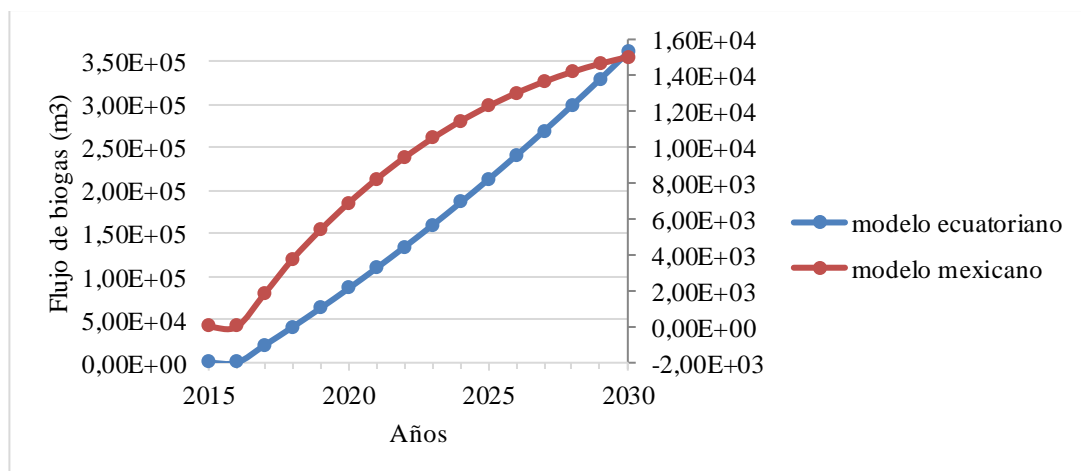


Figura 5. Comparación entre modelos para determinación del flujo de biogás a partir de la basura orgánica.

Tabla 13. Energía del biogás (kWh por año) a partir del flujo de biogás de la basura orgánica, con el modelo de biogás ecuatoriano y mexicano.

Años	Modelo ecuatoriano	Modelo mexicano
0	0,00E+00	0,00E+00
2015	1,02E+05	9,31E+03
2016	2,09E+05	1,90E+04
2017	3,19E+05	2,73E+04
2018	4,34E+05	3,47E+04
2019	5,53E+05	4,15E+04
2020	6,77E+05	4,75E+04
2021	8,04E+05	5,29E+04
2022	9,36E+05	5,78E+04
2023	1,07E+06	6,20E+04
2024	1,21E+06	6,57E+04
2025	1,36E+06	6,89E+04
2026	1,51E+06	7,16E+04
2027	1,66E+06	7,39E+04
2028	1,82E+06	7,59E+04
2029	1,98E+06	7,74E+04
2030	2,14E+06	7,86E+04

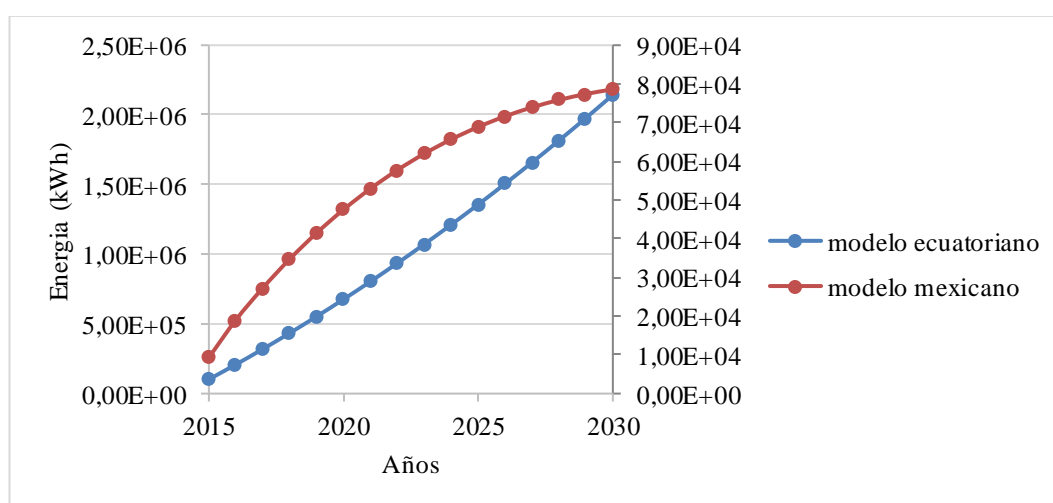


Figura 6. Comparación entre modelos para determinación de la energía del biogás a partir de la basura orgánica.

ANEXO H

Tabla 14. Flujo de biogás (m³) a partir del peso de la basura de jardín, con el modelo de biogás ecuatoriano y mexicano.

Años	Modelo ecuatoriano	Modelo mexicano
0	0,00E+00	0,00E+00
2015	1,14E+04	1,04E+03
2016	2,32E+04	2,12E+03
2017	3,56E+04	3,04E+03
2018	4,84E+04	3,87E+03
2019	6,16E+04	4,62E+03
2020	7,54E+04	5,30E+03
2021	8,96E+04	5,90E+03
2022	1,04E+05	6,43E+03
2023	1,19E+05	6,90E+03
2024	1,35E+05	7,32E+03
2025	1,51E+05	7,67E+03
2026	1,68E+05	7,98E+03
2027	1,85E+05	8,24E+03
2028	2,02E+05	8,45E+03
2029	2,20E+05	8,62E+03
2030	2,39E+05	8,76E+03

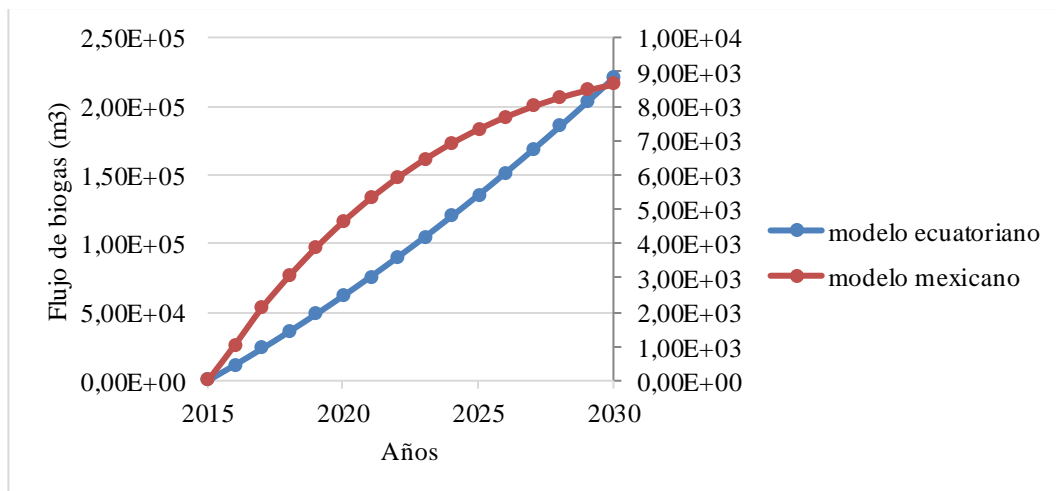


Figura 7. Comparación entre modelos para determinación del flujo de biogás a partir de la basura de jardín.

Tabla 15. Energía del biogás (kWh por año) a partir del flujo de biogás de la basura de jardín, con el modelo de biogás ecuatoriano y mexicano.

Años	Modelo ecuatoriano	Modelo mexicano
0	0,00E+00	0,00E+00
2015	5,75E+04	5,24E+03
2016	1,17E+05	1,07E+04
2017	1,80E+05	1,53E+04
2018	2,44E+05	1,95E+04
2019	3,11E+05	2,33E+04
2020	3,81E+05	2,67E+04
2021	4,52E+05	2,98E+04
2022	5,27E+05	3,25E+04
2023	6,03E+05	3,49E+04
2024	6,82E+05	3,69E+04
2025	7,63E+05	3,87E+04
2026	8,47E+05	4,03E+04
2027	9,33E+05	4,16E+04
2028	1,02E+06	4,27E+04
2029	1,11E+06	4,35E+04
2030	1,21E+06	4,42E+04

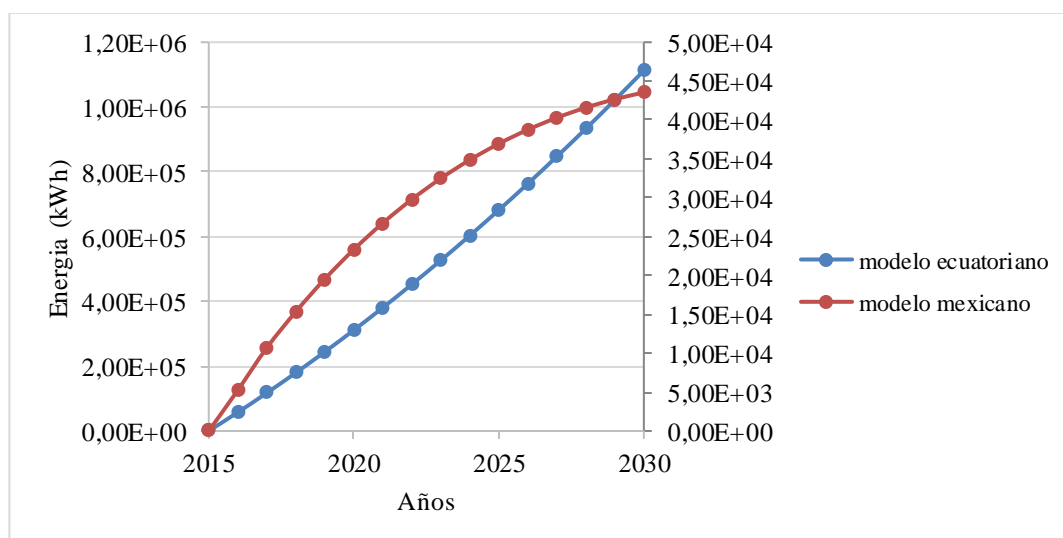


Figura 8. Comparación entre modelos para determinación de la energía del biogás a partir de la basura de jardín.

ANEXO I

Tabla 16. Flujo de biogás (m³) a partir del peso del papel, con el modelo de biogás ecuatoriano y mexicano.

Años	Modelo ecuatoriano	Modelo mexicano
0	0,00E+00	0,00E+00
2015	4,43E+03	4,03E+02
2016	9,04E+03	8,23E+02
2017	1,38E+04	1,18E+03
2018	1,88E+04	1,50E+03
2019	2,40E+04	1,80E+03
2020	2,93E+04	2,06E+03
2021	3,48E+04	2,29E+03
2022	4,06E+04	2,50E+03
2023	4,64E+04	2,68E+03
2024	5,25E+04	2,85E+03
2025	5,88E+04	2,98E+03
2026	6,52E+04	3,10E+03
2027	7,19E+04	3,20E+03
2028	7,87E+04	3,29E+03
2029	8,57E+04	3,35E+03
2030	9,29E+04	3,41E+03

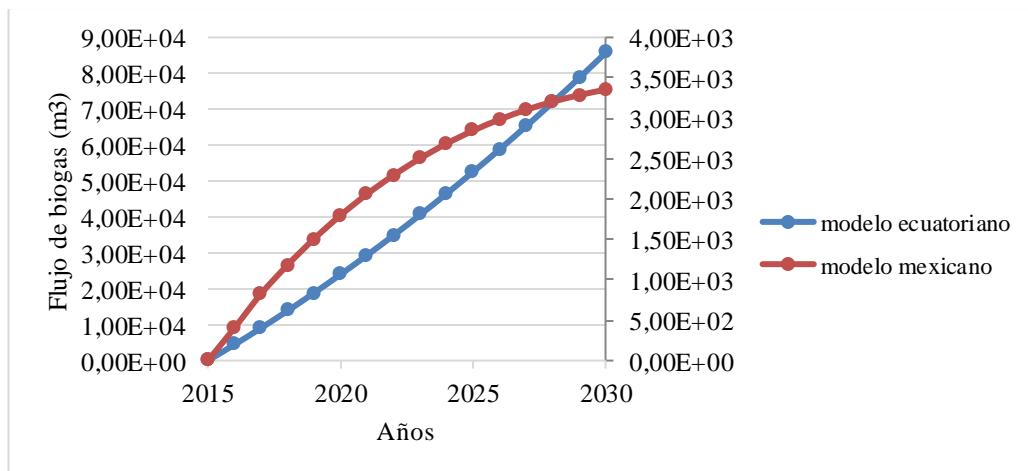


Figura 9. Comparación entre modelos para determinación del flujo de biogás a partir del papel.

Tabla 17. Energía del biogás (kWh por año) a partir del flujo de biogás del papel, con el modelo de biogás ecuatoriano y mexicano.

Años	Modelo ecuatoriano	Modelo mexicano
0	0,00E+00	0,00E+00
2015	2,24E+04	2,04E+03
2016	4,56E+04	4,16E+03
2017	6,99E+04	5,96E+03
2018	9,50E+04	7,60E+03
2019	1,21E+05	9,07E+03
2020	1,48E+05	1,04E+04
2021	1,76E+05	1,16E+04
2022	2,05E+05	1,26E+04
2023	2,35E+05	1,36E+04
2024	2,65E+05	1,44E+04
2025	2,97E+05	1,51E+04
2026	3,29E+05	1,57E+04
2027	3,63E+05	1,62E+04
2028	3,97E+05	1,66E+04
2029	4,33E+05	1,69E+04
2030	4,69E+05	1,72E+04

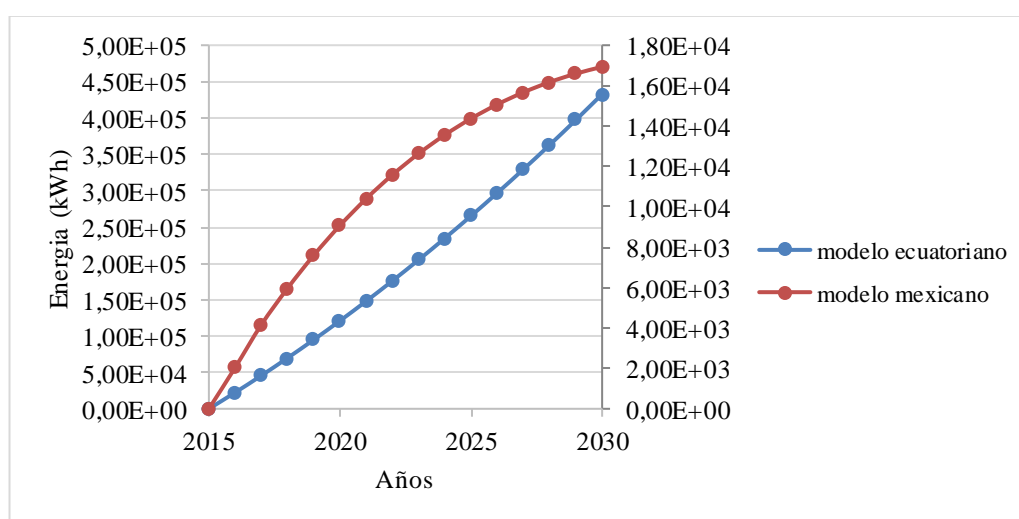


Figura 10. Comparación entre modelos para determinación de la energía del biogás a partir del papel.

ANEXO J

Tabla 18. Flujo de biogás (m³) a partir del peso del cartón, con el modelo de biogás ecuatoriano y mexicano.

Años	Modelo ecuatoriano	Modelo mexicano
0	0,00E+00	0,00E+00
2015	3,79E+03	3,46E+02
2016	7,75E+03	7,06E+02
2017	1,19E+04	1,01E+03
2018	1,61E+04	1,29E+03
2019	2,05E+04	1,54E+03
2020	2,51E+04	1,77E+03
2021	2,99E+04	1,97E+03
2022	3,48E+04	2,14E+03
2023	3,98E+04	2,30E+03
2024	4,50E+04	2,44E+03
2025	5,04E+04	2,56E+03
2026	5,59E+04	2,66E+03
2027	6,16E+04	2,75E+03
2028	6,74E+04	2,82E+03
2029	7,34E+04	2,87E+03
2030	7,96E+04	2,92E+03

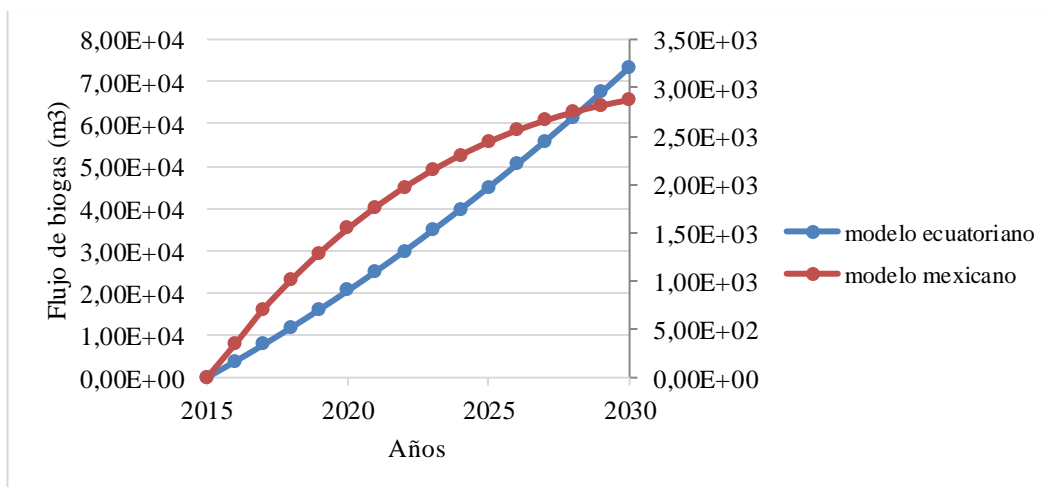


Figura 11. Comparación entre modelos para determinación del flujo de biogás a partir del cartón.

Tabla 19. Energía del biogás (kWh por año) a partir del flujo de biogás del cartón, con el modelo de biogás ecuatoriano y mexicano.

Años	Modelo ecuatoriano	Modelo mexicano
0	0,00E+00	0,00E+00
2015	1,92E+04	5,24E+03
2016	3,91E+04	1,07E+04
2017	5,99E+04	1,53E+04
2018	8,14E+04	1,95E+04
2019	1,04E+05	2,33E+04
2020	1,27E+05	2,67E+04
2021	1,51E+05	2,98E+04
2022	1,76E+05	3,25E+04
2023	2,01E+05	3,49E+04
2024	2,27E+05	3,69E+04
2025	2,54E+05	3,87E+04
2026	2,82E+05	4,03E+04
2027	3,11E+05	4,16E+04
2028	3,41E+05	4,27E+04
2029	3,71E+05	4,35E+04
2030	4,02E+05	4,42E+04

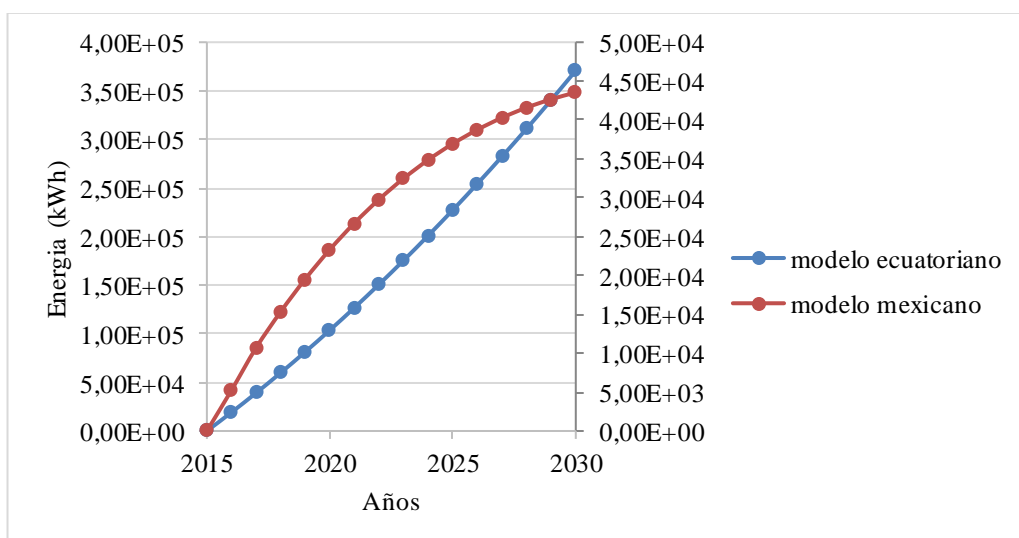


Figura 12. Comparación entre modelos para determinación de la energía del biogás a partir del cartón.

ANEXO K



Figura 13. Zona de recepción de basura para el reciclaje (tolva) en interior del relleno sanitario.



Figura 14. Planta de reciclaje en el interior del relleno sanitario del GAD de Salcedo.



Figura 15. Equipo de protección, implementos de trabajo.



Figura 16. Realización de la actividad de pesaje de los distintos tipos de RSU.