



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

**ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL**



**INFLUENCIA DE LA VALORIZACIÓN EN LA REDUCCIÓN DE LAS
EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE LA
GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS**

Bach. Mauro Marin Quispe Coanqui

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

Asesor (a): MSc. Eliana Mullisaca Contreras



JULIACA - PERÚ

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

**ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL**



**INFLUENCIA DE LA VALORIZACIÓN EN LA REDUCCIÓN DE LAS
EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE LA
GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS**

Bach. Mauro Marin Quispe Coanqui

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Asesor (a): MSc. Eliana Mullisaca Contreras



JULIACA - PERÚ

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y FORESTAL**



**INFLUENCIA DE LA VALORIZACIÓN EN LA REDUCCIÓN DE
LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE LA
GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.**

Bach. Mauro Marin Quispe Coanqui

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Asesor (a): MSc. Eliana Mullisaca Contreras

Juliaca, 2022

Quispe-Coanqui, M. (2022). *Influencia de la valorización en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos*. (Tesis de Ingeniería). Universidad Nacional de Juliaca. Juliaca

AUTOR: Mauro Marin Quispe Coanqui.

TÍTULO: Influencia de la valorización en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos.

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2022

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (90 pp.)

NOTA: Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal
- Universidad Nacional de Juliaca

CÓDIGO: 01-000020-01/Q87

NOTA: Incluye bibliografía.

ASESOR (A): MSc. Eliana Mullisaca Contreras

PALABRAS CLAVE:

Disposición de residuos, gases de efecto invernadero, gestión de residuos sólidos y valorización.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y FORESTAL**

**INFLUENCIA DE LA VALORIZACIÓN EN LA REDUCCIÓN DE LAS
EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE LA GESTIÓN DE
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

Presentado por:

Bach. Mauro Marin Quispe Coanqui

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

MSc.. Hugo Apaza Aquino
PRESIDENTE DE JURADO



Dr. Cedidec Garcia Espinoza
JURADO (secretario)



2º MIEMBRO

Ing. Ebed David Paredes Rodriguez
JURADO (vocal)



3º MIEMBRO



MSc. Eliana Mullisaca Contreras
Asesora de tesis

DEDICATORIA

Se la dedico a mi madre, por motivarme y brindarme apoyo en mi camino y los tropiezos de esta y ante cualquier otra circunstancia.

A mis hermanos ...

AGRADECIMIENTO

- A nuestra Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal por las oportunidades brindadas en todo el trayecto de la vida académica.
- A mis mentores...

ÍNDICE DE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1 El problema de investigación	3
1.2 La pregunta de investigación	4
1.2.1 Problema general	4
1.2.2 Problemas específicos	4
1.3 Objetivos de la investigación	5
1.3.1 Objetivo General	5
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 Justificación de la investigación	5
1.5 Hipótesis de investigación	7
1.5.1 Hipótesis general	7
1.5.2 Hipótesis específicas	7
CAPITULO II	8
REVISIÓN DE LITERATURA.	8
2.1. Antecedentes del problema	8
2.1.1 Antecedentes internacionales	8
2.1.2 Antecedentes nacionales	10
2.2. Marco teórico	11
2.2.1 Cambio climático	11
2.2.2 Residuos sólidos y cambio climático	12
2.2.3 Gestión de residuos sólidos urbanos	12
2.2.4 Procesos de la gestión de residuos solidos	13
2.2.5 Gases de efecto invernadero	16
2.2.6 Huella de carbono	17
2.2.7 Protocolo de gases de efecto invernadero.	18
2.2.8 Descomposición de primer orden (FOD)	21
CAPITULO III	23
MATERIALES Y METODO	23
3.1 Enfoque de investigación	23
3.2 Diseño de la investigación	23

3.3	Unidad de estudio y análisis	23
3.4	Operacionalización de variables	25
3.5	Materiales y equipos	25
3.6	Técnicas de recolección de datos	25
3.7	Método de análisis de datos	25
3.8	Procedimiento metodológico de cuantificación de los GEI	26
CAPITULO IV		34
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		34
4.1	Análisis descriptivo de las emisiones de GEI	34
4.2	Análisis inferencial	54
CAPITULO V		63
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		63
5.1	Conclusiones	63
5.2	Recomendaciones	64
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA		65
ANEXOS		72

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de variables.	25
Tabla 2. Límites operacionales.	27
Tabla 3. Características para la identificación de fuentes de emisión.....	27
Tabla 4. Potencial de calentamiento global.....	28
Tabla 5. Factores de emisión.....	28
Tabla 6. Densidad y Valor calorífico neto por tipo de combustibles.	29
Tabla 7. Clasificación de emisiones de residuos sólidos del distrito de San Miguel.	30
Tabla 8. Factores de emisión para el tratamiento biológico de los desechos.	33
Tabla 9. Composición física de los residuos sólidos municipales.	34
Tabla 10. Composición física de los residuos sólidos municipales según requerimientos del IPCC.....	36
Tabla 11. Generación de residuos sólidos municipales total y Per-cápita.	37
Tabla 12. Contenido de humedad de los residuos sólidos orgánicos.	37
Tabla 13. Proyección de la generación de residuos del distrito de San Miguel (2019-2021).	37
Tabla 14. Cantidad de residuos sólidos municipales para disposición al año 2021.	38
Tabla 15. Proyección de la generación de residuos valorizables del distrito de San Miguel (2019-2021).....	38
Tabla 16. Características de vehículos de uso para el proceso de recolección y transporte.....	39
Tabla 17. Residuos sólidos orgánicos recolectados y valorizados al año 2021.	40
Tabla 18. Residuos sólidos inorgánicos recolectados para valorizados al año 2021.	40
Tabla 19. Residuos sólidos inorgánicos recolectados según componente al año 2021.....	41
Tabla 20. Características de emisión por actividades asociadas al tratamiento y disposición de residuos.	42
Tabla 21. Emisiones por proceso de recolección y transporte de residuos año 2021.	43
Tabla 22. Emisiones por proceso de valorización y disposición de residuos año 2021.....	44
Tabla 23. Emisiones de GEI por residuos orgánicos tratados biológicamente.	45
Tabla 24. CH ₄ generado por la generación de residuos sólidos municipales para disposición al año 2021.....	46
Tabla 25. Emisiones de CO ₂ -eq por la generación de residuos sólidos municipales para disposición al año 2021.....	47
Tabla 26. CH ₄ generado en escenario de gestión de residuos sólidos municipales al año 2021.	49
Tabla 27. Emisiones de CO ₂ -eq en escenario de gestión de residuos sólidos municipales al año 2021.....	50
Tabla 28. Inventario de gases de efecto invernadero del sistema de gestión de residuos - 2021.....	52
Tabla 29. Prueba de Normalidad según Sharpiro-Wilks.....	54
Tabla 30. Correlación de variables.....	59

Tabla 31. Resumen del modelo de la ecuación del objetivo general.	60
Tabla 32. Análisis de coeficiente de regresión del objetivo general.	60
Tabla 33. Correlación de la variable dependiente y la dimensión valorización de residuos orgánicos.	55
Tabla 34. Resumen del modelo de la ecuación del objetivo específico 2.	55
Tabla 35. Análisis de coeficiente de regresión del objetivo específico 2.	55
Tabla 36. Correlación de la variable dependiente y la dimensión valorización de residuos inorgánicos.	57
Tabla 37. Resumen del modelo de la ecuación del objetivo específico 3.	57
Tabla 38. Análisis de coeficiente de regresión del objetivo específico 3.	58
Tabla 39. Matriz de consistencia.	73
Tabla 40. Valores por defecto de DOC para diferentes tipos y materiales de residuos.	75
Tabla 41. Valores por defecto para MCF.	75
Tabla 42. Valores por defecto para DOCf.	76
Tabla 43. Valores por defecto para F.	76
Tabla 44. Valores por defecto para OX.	77
Tabla 45. Valores por defecto para kj.	77

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Tipos de emisión.....	20
Figura 2. Mapa de ubicación del distrito de San Miguel.	24
Figura 3. Composición física de los residuos sólidos del municipio de San Miguel.	35
Figura 4. Composición física de los residuos sólidos según requerimiento del IPCC.....	36
Figura 5. Emisiones de CO ₂ -eq por tonelada de residuos orgánicos tratados biológicamente ...	45
Figura 6. Participación de emisiones por generación de residuos sólidos municipales para disposición.	47
Figura 7. Emisión de CO ₂ -eq por tipo de residuos sólidos.	48
Figura 8. Participación de emisiones por generación de residuos sólidos municipales para disposición con escenario de valorización.	49
Figura 9. Emisión de CO ₂ -eq por tipo de residuos sólidos en escenario de valorización.	51
Figura 10. Comparación de emisión de CO ₂ -eq por tipo de escenario.	51
Figura 11. Participación de emisiones de CO ₂ -eq del inventario.....	52

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Matriz de consistencia	73
Anexo 2. Valores condicionales para la emisión de GEI, referenciadas de las directrices del IPCC.....	75

ACRÓNIMOS

GHG: Greenhouse Gas.

GEI: Gases de Efecto Invernadero.

ONU: Organización de las Naciones Unidas.

MINAM: Ministerio del Ambiente.

IPCC: Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático.

WRI: Instituto de Recursos Mundiales.

WBCSD: Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sustentable.

DOC: Cantidad de carbono orgánico degradable.

DSM: Desechos sólidos municipales.

SEDS: Sitios de eliminación de desechos sólidos.

CO₂-eq: Emisiones de dióxido de carbono equivalente.

INGEI: Inventario nacional de gases de efecto invernadero.

RESUMEN

Las ciudades son espacios geográficos que generan gran variedad de impactos por sus actividades sociales, entre estos está la contribución a los efectos del cambio climático por emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por parte del sector de residuos sólidos urbanos (RSU), siendo uno de los problemas más grandes en el contexto global. El estudio tuvo por objetivo determinar la influencia de la valorización en la reducción de emisiones de GEI de la gestión de residuos sólidos del distrito de San Miguel, presentando como ruta metodológica un enfoque cuantitativo con nivel explicativo y de diseño transversal, teniendo como técnica de investigación el análisis documental; así mismo, se estimó las emisiones mediante el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (*GHG Protocol*), siendo el estándar corporativo de contabilidad y reporte, el estándar de contabilidad y de reporte para las ciudades, y las directrices del IPCC las herramientas utilizadas para la cuantificación. Los resultados indican que, las emisiones de GEI en la gestión de residuos sólidos para el 2021 se aproximan a 9243.33 toneladas CO₂-eq; evidenciándose de estas que el 98.97% son generados por los residuos sólidos para disposición, el 0.56% por procesos de valorización y 0.47% proceso de recolección y transporte. Así mismo, mediante el coeficiente de relación de Pearson ($r = -0.873$), y el análisis de regresión lineal simple se evidencia la influencia de la valorización en la reducción de las emisiones de GEI, estableciendo que por cada 100 toneladas de residuos valorizados se dejan de emitir aproximadamente 71.32 toneladas de CO₂-eq, con una predicción de 76.3%. Concluyendo que, a mayor grado de valorización de residuos, se presentará un menor grado de emisiones de GEI, puesto que, la relación causal es negativa.

Palabras clave: Disposición de residuos, gases de efecto invernadero, gestión de residuos sólidos y valorización.

ABSTRACT

Cities are geographical spaces that generate a wide variety of impacts due to their social activities, among these is the contribution to the effects of climate change due to greenhouse gas (GHG) emissions by the urban solid waste (RSU) sector, being one of the biggest problems in the global context. The study aimed to determine the influence of valorization in the reduction of GHG emissions from solid waste management in the district of San Miguel, presenting as a methodological route a quantitative approach with an explanatory level and cross-sectional design, having as a research technique documentary analysis; likewise, emissions were estimated using the Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol), being the corporate accounting and reporting standard, the accounting and reporting standard for cities, and the IPCC guidelines the tools used for quantification. The results indicate that GHG emissions in solid waste management for 2021 are close to 9243.33 tons CO₂-eq; evidencing of these that 98.97% are generated by solid waste for disposal, 0.56% by recovery processes and 0.47% collection and transportation process. Likewise, through the Pearson relationship coefficient ($r = -0.873$), and the simple linear regression analysis, the influence of valorization in the reduction of GHG emissions is evidenced, establishing that for every 100 tons of valorized waste, They stop emitting approximately 71.32 tons of CO₂-eq, with a prediction of 76.3%. Concluding that, to a higher degree of waste recovery, there will be a lower degree of GHG emissions, since the causal relationship is negative.

Keywords: Greenhouse gases, solid waste management, valorization and waste disposal.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un problema global actual, presente en todas las sociedades, desde las pocas desarrolladas hasta las más desarrolladas (Benítez, 2019), este supone una grave amenaza para la población del futuro, ya que puede ocasionar una considerable elevación del nivel del mar, una mayor frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos, e incluso la desaparición de determinadas especies de animales y plantas (Villanueva et al., 2019). El sector de los residuos sólidos aporta a las emisiones de GEI principalmente mediante la generación de CH₄ y CO₂ en pequeñas cantidades; siendo un sector que recibe una atención de crecimiento constante, así como aumenta la preocupación sobre los efectos del cambio climático sobre el planeta (Rondón et al., 2016). Por otro lado, el rápido crecimiento de las ciudades genera más residuos, algo que las ciudades deben afrontar a la hora de diseñar planes de gestiones eficaces y rentables para los mismos (Rodríguez, 2022).

“En América Latina y el Caribe, la generación de residuos municipales corresponde cerca del 12% de la generación global (160 millones de toneladas), encontrándose que ningún país latinoamericano logra recuperar más del 15% de material reciclable” (Graziani, 2018). A nivel nacional, en el año 2019 se estimó que solo el 3.9% de los residuos logro segregar y reciclar de manera formal, solo el 2% de recicladores estuvieron formalizados; el 59% de las municipalidades no termino de implementar los programas de segregación y recolección selectiva; el 34.6% del plástico se pierde en vertederos a pesar de ser uno de los residuos más valorizables (Alegre y Zucchetti, 2021).

En la provincia de San Román donde se encuentra el distrito de San Miguel, se observa un mayor crecimiento demográfico y un cambio en los hábitos de consumo en las últimas décadas. Por consiguiente, la generación de residuos sólidos va en aumento produciéndose una sobrecarga al momento de ser gestionados; esto causa una gran variedad de impactos entre los cuales se encuentra la contaminación de grandes extensiones de suelos, contaminación de cuerpos de agua, contribución negativa al cambio climático, etc. Siendo de especial interés la negativa contribución a los efectos del cambio climático por la emisión de GEI. Por lo cual, la transición hacia una economía circular es necesaria y urgente, apostando por el aprovechamiento de los recursos y reducción de las materias primas, un modelo que alterno al antiguo “modelo lineal”, en cuanto a la extracción, producción, y consumo de los recursos (González, 2020), evitando

así también la reducción de emisiones en procesos fuera del sistema de gestión de residuos. Entendiendo que, las ciudades, y de manera general los asentamientos humanos son hitos artificiales; donde su construcción y funcionamiento implican la transformación sustancial del entorno, impactando no sólo en el área sobre la que se establecen, sino también a los lugares de los cuales se extraen recursos, y a los que envían residuos (Sobrino et al., 2018).

Por lo mencionado, la pregunta central del estudio es ¿En qué medida influye la valorización en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos del distrito de San Miguel?; teniendo como hipótesis que, la valorización influye significativamente en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos. El objetivo central es el determinar la influencia de la valorización en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos del distrito de San Miguel.

Para el entendimiento del estudio, se tiene una estructura de cinco capítulos: en el capítulo I “Planteamiento del problema” se describen las características de la realidad observada desde un contexto global y nacional, relacionadas puntualmente a la unidad de investigación, expresando la información con enfoque cuantitativo y cualitativo. En el capítulo II “Revisión de literatura” se describen investigaciones previas que sirvan de precedente en los métodos y procedimientos de estudio, a su vez, se efectúan algunas precisiones teórico-conceptuales referidas a la gestión de residuos, el tratamiento y valorización de los mismos, cambio climático y su relación con los residuos, los GEI y los métodos de cálculo, permitiendo entender el fenómeno del estudio. El capítulo III “Materiales y métodos” se describen los materiales usados en el estudio, así como, la ruta metodológica establecida por el enfoque, el nivel y el diseño de investigación en función de las variables y su operacionalización. El capítulo IV “Resultados y discusión” se presentan los resultados descriptivos e inferenciales del comportamiento natural de las variables y los principales hallazgos de la interacción de las mismas, mediante tablas y gráficos representativos que son analizados e interpretados mediante sustento científico que precede y contrasta para un mejor entendimiento del estudio. Finalmente, en el capítulo V “Conclusiones y recomendaciones” se establece una proposición final en respuesta a los objetivos y su propósito; a su vez, se formulan sugerencias para un mejor entendimiento del contexto científico para futuros investigadores y la mejora de la naturaleza de la unidad de análisis por parte de tomadores de decisión.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 El problema de investigación

Las ciudades, y de manera general los asentamientos humanos son hitos artificiales; donde su construcción y funcionamiento implican la transformación sustancial del entorno, impactando no sólo en el área sobre la que se establecen, sino también a los lugares de los cuales se extraen recursos, y a los que envían residuos (Sobrino et al., 2018).

El sector de los residuos sólidos aporta a las emisiones de GEI primordialmente mediante la generación de CH₄ a partir de los vertederos, así como CO₂ en pequeñas cantidades; siendo un sector que recibe una atención de crecimiento constante, así como aumenta la preocupación de los efectos del cambio climático sobre el planeta (Rondón et al., 2016). Las emisiones de la gestión de residuos representan aproximadamente el 3.6 por ciento de la producción global de GEI, siendo la mayor fuente de emisiones de este sector los vertederos de residuos sólidos, que emite CH₄ (Herzog et al., 2015).

Los desechos del Perú en el INGEI al 2012 significaron 7822.58 Gg de emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO₂-eq), representando el 4.57% de las emisiones nacionales, siendo los residuos sólidos la fuente principal de emisiones de GEI de esta categoría, con 76.77% (6005.25 Gg CO₂-eq), seguida por aguas residuales con 15.89%, donde se encuentran los efluentes industriales, tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas y finalmente 7.34% de excretas humanas (MINAM, 2016). En ese sentido entre la variedad de elementos con los cuales cuentan las ciudades como sistema, se encuentran las entidades administrativas municipales que son organizaciones con procesos funcionales en un contexto de interdependencia del espacio geográfico donde se encuentran y con la sociedad que los rodea. La Municipalidad Distrital de San Miguel, gestiona los residuos sólidos generados en consecuencia de las actividades de su población, lo que implica emisiones de GEI, por procesos de recolección, transporte, valorización (tratamiento) y disposición final de residuos, traduciéndose esto en una negativa contribución a las causas del cambio climático, lo que genera preocupación a los tomadores de decisiones.

Los impactos de nuestras actividades sobre el planeta han provocado que, en la actualidad el mayor desafío que enfrentemos como sociedad sea el cambio climático y sus consecuencias, puesto que las emisiones de GEI se incrementan por acciones consumistas

en periodos de corto plazo, lo que implica que “muchos de los hábitats actuales sean inadecuados, además de reducir la disponibilidad de recursos naturales, como el agua, asimismo, constituye una amenaza para las personas y la naturaleza, exacerbando las tensiones ya existentes (Groc, 2021). Por otro lado, los procesos de valorización de residuos sólidos han tomado una tendencia creciente en la gestión, puesto que permite recuperar gran cantidad de estos residuos y transformarlos en materia prima para nuevos procesos de producción, lo que contribuye a la disminución de los impactos por acciones de extracción de recursos vírgenes y disposición de residuos en áreas de grandes extensiones, en un enfoque de ciclo de vida, estas acciones podrían contribuir en la disminución de GEI. En tal sentido la presente investigación responderá las siguientes preguntas:

1.2 La pregunta de investigación

1.2.1 Problema general

- ¿En qué medida influye la valorización en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos del distrito de San Miguel?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿En qué valores se encuentran las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos del distrito de San Miguel?
- ¿En qué medida influye la valorización de residuos sólidos orgánicos en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos?
- ¿En qué medida influye la valorización de residuos sólidos inorgánicos en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo General

- Determinar la influencia de la valorización en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos del distrito de San Miguel.

1.3.2 Objetivos específicos

- Cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión residuos sólidos urbanos del distrito de San Miguel.
- Determinar la influencia de la valorización de residuos sólidos orgánicos en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos.
- Determinar la influencia de la valorización de residuos sólidos inorgánicos en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos.

1.4 Justificación de la investigación

Los impactos como consecuencia del cambio climático, son situaciones evidentes en los que está viviendo todo el planeta, esto sucede a causa de las malas prácticas de desarrollo, sin consideración de la vulnerabilidad del ambiente natural, por lo que, las organizaciones de todo el mundo ya sean públicas como privadas tienen cada vez mayor responsabilidad por controlar los impactos que sus actividades ocasionan. “Como consecuencia, se han alcanzado diferentes acuerdos entre los Estados para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), como el Protocolo de Kioto o el más reciente Acuerdo de París de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático” (Siart, 2020).

En gran parte de los países, podrían ser mitigadas el 4% de las actuales emisiones anuales de GEI si los programas de gestión de los residuos se pudieran optimizar con tecnología mejorada como: compostaje de residuos orgánicos y reciclaje, producción de energía desde los residuos; y si en la generación de residuos se incluye la prevención se podría incrementar esta contribución hasta el 20% (Graziani, 2018); por lo que, el sector de residuos sólidos tiene un potencial significativo sobre la mitigación al cambio climático (Umwelt Bundesamt, 2015). Resultando de especial interés evaluar acciones que se van a tomar, con respecto a

los GEI que las entidades administrativas municipales emiten a la atmosfera, para poder mitigar, controlar y así contribuir con las políticas y estrategias de la sustentabilidad de nuestras ciudades, siendo necesario un estudio previo del comportamiento de los GEI, con métodos ya establecidos.

Por lo mencionado, el estudio se justifica desde el punto de vista teórico, al indagar a detalle la influencia de la valorización de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos en la reducción de las emisiones de GEI en la gestión de residuos sólidos urbanos del distrito de San Miguel, y permitir conocer la realidad del entorno, permitiendo desarrollar nuevo conocimiento que podrá ser de gran relevancia al replicar los métodos en entornos similares; a su vez, proporciona información que será útil para mejorar los procesos de gestión de residuos sólidos con un enfoque de mitigación del cambio climático, para la mejora del conocimiento sobre el alcance de los impactos que los sistemas de gestión de residuos sólidos generan.

Desde el punto de vista metodológico, se justifica puesto que sirve de referencia a otros investigadores con interés del comportamiento de las emisiones de GEI por los procesos de gestión de residuos sólidos, permitiendo contribuir a un mayor entendimiento de las acciones metodológicas para encontrar resultados válidos.

En el sentido social, es estudio está dirigido a la población del distrito de San Miguel y sus visitantes, de manera que se pueda sensibilizar del como una mala gestión de residuos sólidos en todos sus procesos puede influenciar negativamente sobre el cambio climático y sus efectos; encontrándose al cambio climático como un problema mundial que afectará a todos los sectores productivos (hídrico, agrícola, producción de alimentos, energético, salud, costero, etc.) y segmentos de la sociedad (asentamientos humanos de diferentes zonas geográficas del planeta), impactando directamente en lo ambiental, económico, cultural y social (Guido, 2017).

1.5 Hipótesis de investigación

1.5.1 Hipótesis general

- **Hi:** La valorización influye significativamente en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos del distrito de San Miguel.

1.5.2 Hipótesis específicas

- Cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión residuos sólidos urbanos del distrito de San Miguel permitirán determinar la influencia.
- La valorización de los residuos sólidos orgánicos influye significativamente en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos.
- La valorización de los residuos sólidos inorgánicos influye significativamente en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1 Antecedentes internacionales

Posligua (2020), presentó una propuesta para la mitigación de los efectos futuros del cambio climático, con la reducción de GEI mediante el aprovechamiento del gas metano de los residuos sólidos urbanos generados en el cantón. Según datos se aproxima que el 80.7% de residuos generados son de tipo orgánico. Los resultados indican que la cantidad de toneladas generadas al año evidencian que la concentración de metano generado $\text{m}^3/\text{día}$, podrá garantizar el desarrollo de un proyecto de generación electricidad a partir del biogás.

Lemus (2018), comparó la huella de carbono generada en diferentes escenarios de tratamiento de residuos orgánicos, siendo los tratamientos: el proceso de deshidratación, el proceso de compostaje y el relleno sanitario. Para ello, realizó una estimación de las toneladas de $\text{CO}_2\text{-eq}$ en los procesos de recolección, transporte y tratamiento de los residuos, se evidenció que el relleno sanitario en total de toneladas de $\text{CO}_2\text{-eq}$ para el 2017 fue de 253.4 toneladas $\text{CO}_2\text{-eq/año}$, para la planta de deshidratación fue de 221.1 toneladas $\text{CO}_2\text{-eq/año}$, y para la compostera fue de 327.9 Ton $\text{CO}_2\text{-eq/año}$.

Murillo et al. (2018), estimaron los contaminantes criterio, las emisiones de GEI y el potencial para generar energía eléctrica en cuatro escenarios tecnológicos distintos para la disposición final de los RSU; evidenciaron que la disposición final en vertederos es el tratamiento que más emisiones de GEI genera con 532.4 toneladas $\text{CO}_2\text{-eq/día}$ y con un potencial para generar energía eléctrica de hasta 73.35 MWh, seguidamente por la incineración de RSU con 402.9 toneladas $\text{CO}_2\text{-eq /día}$; así mismo, otros escenarios como la incineración generarían adicionalmente, grandes cantidades de emisiones de contaminantes criterio del aire como partículas (5.24 Ton/día), NO_x (0.751 Ton/ día) y CO (0.14 Ton/ día).

Salmeron et al. (2017), proyectaron el potencial para generar y recuperar biogás mediante el Modelo Mexicano de Biogás 2.0.; el factor de generación de CH_4 (k) calculado fue de $0.221 \text{ m}^3/\text{tonelada}$, el índice del potencial de generación de CH_4 (L_o) es de $69 \text{ m}^3/\text{tonelada}$,

con un factor de corrección de metano (MCF) igual a 1.0 para una degradación anaeróbica rápida; la eficacia de captura es de 62%, la reducción de emisiones de GEI es de 171.742 toneladas/año CO₂.eq (45.15% de la huella de carbono cuantificada del manejo de los residuos).

Aristizábal et al. (2016), compararon las emisiones de GEI en el proceso de digestión anaerobia y rellenos sanitarios, como opción para el tratamiento y disposición de residuos orgánicos en Colombia, mediante modelos de cálculo teóricos para las emisiones diarias de CO₂ y NH₄; sus resultados evidencian considerables diferencias entre las técnicas de cuantificación, especialmente para la evaluación de digestión anaerobia por el carácter general de los factores de emisión; por otro lado, estimaron que aproximadamente 50 toneladas de NH₄ y 1200 toneladas de CO₂, inventariados como CO₂.eq evitarían ser emitidas al año en la ciudad de Manizales si se implementara como alternativa a la disposición la digestión anaerobia.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Quispe y Guerra (2020), propusieron el reaprovechamiento de los residuos orgánicos que son generados en la provincia de San Ramón mediante la valorización; observaron 69.49% de carga orgánica para su valorización, las características fisicoquímicas como la humedad de 10.71%, densidad de 252.7 kg/m³, y la GPC.0.82 kg/hab/día. En su análisis económico se obtiene un VAN del S/ 1,225,065.12, un TIR del 31% y el costo beneficio de S/ 2.60; por otro lado, en la evaluación ambiental, evidenciaron un impacto de 288 positivo, demostrando que no generarían impactos o daños ambientales en las diferentes etapas de constitución de la planta.

Hurtado (2019), evaluó la generación de biogás a partir de estiércol de vaca, cerdo y residuos celulósicos, formulando una mezcla con una relación C25:N1 y 30% de sólidos totales, prefermentando durante 4 días con agua de cal al 2% a temperatura ambiente, para luego fermentarlo anaeróbicamente en digestores de 20 L de capacidad durante 90 días. La mezcla de estiércol de cerdo, vaca y residuos celulósicos produjo 232 L de biogás durante 90 días, con un porcentaje de metano de 65%; demostrando la producción de biogás y por ende la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero por la digestión anaerobia.

Ziegler (2019), estudió una (1) tonelada de residuos sólidos urbanos utilizando el software de cuantificación especializada en sistemas de tratamiento de residuos sólidos EASETECH para realizar el modelado del sistema; modelando 5 escenarios evaluaron los impactos en 9 categorías, siendo el Cambio Climático 1 de ellas con el método IPCC 2006 y el método ReCiPe 2008 las restantes; entre sus principales resultados se observa que el impacto total en la categoría de Cambio Climático del vertedero asciende a 1375 kg CO₂-eq por unidad funcional, y se evita entre 355 y 696 kg CO₂-eq si se implementara la recuperación de energía y quema de biogás y, respectivamente.

2.2. Marco teórico

2.2.1 Cambio climático

Caballero et al. (2007), consideran que:

El cambio climático es un proceso cíclico, el cual tiene podría tener una duración aproximadamente de 100.000 años, durante los cuales hay cambios entre la era interglacial y la glacial con una duración del 20 y 80% respectivamente; sin embargo, en la última década se ha podido evidenciar que el contenido de CO₂ y el resto de GEIs sobrepasa los límites determinados de los últimos 400 años, por lo que se podría generar un nuevo punto de equilibrio del clima del planeta.

En tal sentido, el cambio climático es ahora un tema polémico que influye en los actos de los nuevos líderes y en la conducta de personas ambientalmente responsables (Díaz, 2012).

Por lo que, Fernández (2013) afirma que:

Debido a la alteración de varios equilibrios biológicos y energéticos, la mayor parte del cambio climático es atribuible a la actividad humana. A pesar del bajo efecto invernadero de los compuestos típicos de la atmósfera (Nitrógeno: 78%) y (Oxígeno: 21%), las actividades humanas (industria, generación de energía con combustibles fósiles, transporte, agricultura, deforestación, etc.), incrementan GEI, causantes del calentamiento de la tierra, y la producción de sulfatos que, actuando como contrapeso, contribuyen a su enfriamiento.

Para el IPCC (2013), se define al cambio climático como:

La variación identificable del estado del clima (por ejemplo, mediante análisis estadístico) en la variabilidad de sus propiedades y/o en las variaciones del valor medio, que persiste durante períodos de tiempo largos, generalmente decenios o períodos aún más largos; el cambio climático puede deberse a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares o a procesos internos naturales, erupciones volcánicas o cambios antropogénicos persistentes de la composición de la atmósfera o del suelo y su uso.

Sánchez y Reyes (2015), señalan que Las implicaciones climáticas indican un aumento considerable de la temperatura entre 1 y 2°C para el 2050, entre 1 y 3.7 °C para fines de siglo, y en el caso más severo, hasta los 4.8 °C registrados entre 1850 y 1900. Galindo et

al. (2015), por su parte, afirman que la temperatura subió 0.85 °C entre 1880 y 2012, provocando cambios en las precipitaciones y el derretimiento de nevados, entre otros, además de una temperatura mundial constante resultando en sequías.

2.2.2 Residuos sólidos y cambio climático

Rondón et al. (2016) menciona que:

La industria de los desechos sólidos contribuye en gran medida a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) al generar CH₄ de los vertederos y pequeñas cantidades de CO₂ a través de la incineración; a medida que aumentan las preocupaciones sobre el impacto del cambio climático en el medio ambiente mundial, se debe enfatizar que las emisiones de GEI relacionadas con la gestión de desechos están atrayendo una atención cada vez mayor.

2.2.3 Gestión de residuos sólidos urbanos

La gestión de residuos se define típicamente como el conjunto de operaciones diseñadas para dar a los residuos producidos en un área determinada el destino económico y ambiental más apropiado, teniendo en cuenta las características de los residuos, el volumen, el origen, las oportunidades de recuperación y comercialización, el costo del tratamiento, y normas legales (André y Cerdá 2006).

De la misma forma, el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sustentable y el Instituto de Recursos Mundiales (WBCSD y WRI, 2014) explica que, los residuos sólidos urbanos (RSU) (municipal *solid waste*, *MSW*) se describen como basura recolectada por el gobierno municipal u otro gobierno local. Los RSU generalmente se componen de desechos de alimentos, basura de jardines y parques, desechos de papel y cartón, madera, textiles, pañales desechables, caucho y cuero, plástico, metal y vidrio, entre otras sustancias.

Para el OEFA (2014), los desechos municipales consisten en los residuos de la actividad comercial y residencial que son recolectados por el municipio como parte de su gestión administrativa, donde los operadores del sistema de recolección son responsables por la disposición del residuo entregado por el particular.

Definiéndose a los residuos como todo subproducto sólido, líquido o gaseoso de un proceso de extracción, transformación o aprovechamiento que el propietario considera inútil y abandona (Euformación, 2015).

Por otro lado, de acuerdo a Tchovanoglous et al. (1994) citado en Rondón et al. (2016), afirma que:

La gestión de residuos sólidos se define como el área de estudio relacionada al control de la generación, almacenamiento, recogida, transporte, procesamiento y eliminación de residuos sólidos de tal manera que concuerda con los principios de la economía, de la salud pública, de la conservación, de la ingeniería, de la estética y de otras consideraciones ambientales, que responden a las expectativas ciudadanas.

Respondiendo a este planteamiento, todas las acciones de manejo de residuos sólidos deben sustentar el uso de un plan jerárquico que indique el siguiente orden de importancia: prevenir, minimizar, tratar y disponer; esto implica que, desde un punto de vista ambiental, la mejor opción es la prevención, o evitar la producción de residuos. En segundo lugar, si no se puede evitar su producción, se debe minimizar su producción; en tercer lugar, si los desechos no pueden minimizarse, deben tratarse (con el objetivo de reducir su cantidad y /o riesgo antes de su disposición final) y finalmente eliminarlos (Rondón et al., 2016).

2.2.4 Procesos de la gestión de residuos solidos

En la gestión de residuos sólidos el objetivo de los procesos es elaborar un sistema de control de estos desde de generación en la fuente, el manejo, almacenamiento, transporte, disposición y tratamiento para evitar que se contamine, aplicando tecnologías de gestión ambiental sostenible en todas las actividades que están comprometidas (National Solid Waste Management Commission, 2012). Siendo un proceso una serie de operaciones conectadas diseñadas para producir un resultado o producto final para un receptor de bienes o servicios (Grupo APCER, 2016). Así mismo, la gestión por procesos se enmarca dentro de la manera en cómo se manejan los procesos y sus interacciones para garantizar la eficacia de los objetivos de la organización, la satisfacción de los clientes y el funcionamiento de la cadena de valor (Hitpass, 2019).

a. *Generación.*

Comprender sobre las cantidades de desechos sólidos que se generan, la clasificación para el reciclaje y la recolección para el tratamiento y/o eliminación es esencial para todas las áreas de la gestión de desechos sólidos (Rondón et al., 2016). Puesto que, la generación de residuos contribuye al costo ambiental que debemos asumir; es uno de los problemas

ambientales más serios del mundo que los gobiernos deben abordar; su ritmo de crecimiento se ha acelerado en las últimas décadas, con una mezcla cada vez más heterogénea y con riesgo para la salud humana como para el medio ambiente (Sotelo, 2013). En América Latina y el Caribe las residencias continúan siendo la principal fuente de generación de los residuos sólidos urbanos, por lo es fundamental que la información sobre la generación y composición tenga veracidad para una buena gestión (Hernández-Berriel, 2017).

La generación de residuos sólidos municipales proviene de una variedad de fuentes, que pueden incluir (MINAM, 2020):

- **Domiciliarios:** consideran exclusivamente los residuos sólidos domiciliarios como fuente de generación, definiendo residencia como cualquier inmueble con un espacio habitable dedicado.
- **No Domiciliarios:** como generadores, incluyen empresas comerciales, restaurantes, hoteles, plazas de mercado, instituciones públicas y privadas, instituciones educativas y servicios de limpieza y barrido de espacios públicos.

Para Sotelo (2013), la categorización de los desechos es un aspecto crucial de la gestión de desechos, ya que brinda información sobre la creación, el procesamiento y la eliminación final de estos, así como sobre cómo contribuye al daño ambiental; por ello, es fundamental conocer con claridad los volúmenes de residuos generados en una zona, los distintos materiales que los componen, los puntos de generación y la variabilidad en la que influyen factores como la estacionalidad, el estilo de vida de los ciudadanos, la composición de las familias y cómo se gestionan; a nivel regional e internacional, el peligro del efecto ambiental perjudicial puede comprenderse mejor de esta manera.

b. Barrido y limpieza de espacios públicos.

El operativo de barrido y limpieza tiene como objetivo garantizar que todos los espacios públicos urbanos y rurales, incluyendo vías, plazas y otros lugares públicos, estén libres de desechos sólidos; esta actividad se compone de dos (2) componentes principales: barrido de calles y limpieza de áreas públicas (MINAM, 2020). La colocación de papeleras y la educación ambiental de la comunidad para cumplir con el servicio pueden ser las características más significativas del barrido de calles, particularmente en lugares con mucho tránsito peatonal y donde también se concentra el comercio ambulante (Rondón et al., 2016).

c. *Recolección y transporte.*

La operación de recolección de residuos sólidos es el proceso de recolección de residuos sólidos para su transporte y posterior manejo de manera sanitaria, segura y ecológicamente responsable (MINAM, 2020). Se puede decir entonces, que la recogida de residuos es el nexo entre la generación de residuos y la disposición (así como los procesos intermedios que puedan surgir), por lo que la recogida debe organizarse de forma que permita un servicio eficaz y equitativo, sin que se produzcan polvo, ruidos molestos, malos olores, desorden, y en condiciones aceptables para un servicio de estas características, lo que demuestra que la recogida de residuos es la columna vertebral de todos los demás procesos (Rondón et al., 2016).

d. *Tratamiento y valorización.*

El tratamiento y valorización de los residuos sólidos urbanos forma parte de la creación de múltiples actividades encaminadas a reducir el efecto ambiental negativo que pueda tener una disposición inadecuada, dependiendo de los distintos componentes del modelo de gestión que cada municipio emplee en condiciones locales a su hábitat (Tello et al., 2018); Por lo tanto, la recuperación debe priorizarse antes que la disposición final de los desechos, esto incluye operaciones de reciclaje, compostaje, reutilización, y valorización energética, entre otros (MINAM, 2020).

Una vez recolectados y antes de su disposición en los sitios de vertido (o rellenos sanitarios), los residuos sólidos pueden ser tratados con procedimientos que brinden ventajas técnicas, económicas, ambientales y operativas; así, el tratamiento y valorización de los residuos tiene como finalidad la realización de actividades encaminadas a la eliminación o reutilización de los recursos que contienen (Rondón et al., 2016).

La valoración y el tratamiento tienen mayor más eficacia cuando (a nivel regional o local) hay firmeza en la reducción de la cantidad generada de residuos, reaprovechando los materiales, evitando el desperdicio, segregando lo reciclable y disponiendo los residuos de manera correcta mediante técnicas como (Rondón et al., 2016):

- ***Incineración:*** la combustión controlada convierte la parte orgánica de los desechos sólidos urbanos en material inerte (cenizas) y gases; no es una técnica de eliminación completa, ya que produce cenizas, gases y escorias, pero sí reduce significativamente el peso y volumen de los desechos; la disminución de peso ronda el 70%, mientras que

la reducción de volumen oscila entre el 80% y el 90%, dependiendo de las proporciones de combustible y componentes inertes.

- **Reciclaje:** siendo la finalidad la valorización (directa o indirecta) de los componentes contenidos en los desechos urbanos, donde el tratamiento está obligado por el nuevo concepto de gestión de residuos que debe tender a conseguir la conservación o ahorro energético, la conservación o ahorro de los recursos naturales, reduciendo la cantidad de residuos a eliminar y la protección del medio ambiente.
- **Compostaje:** Es un método de descomposición biológica, por acciones aeróbicas, de la materia orgánica incluida en los residuos sólidos urbanos en circunstancias reguladas, considerado un proceso de reciclaje en el que se recupera la fracción orgánica para su uso en la agricultura, lo que implica una devolución de las sustancias extraídas a la naturaleza.

En tal sentido el tratamiento de los residuos es un proceso para variar las características biológicas, químicas o físicas de los residuos sólidos, a fin de evitar o eliminar el riesgo potencial al ambiente a la salud de las personas, con el propósito de condicionarlo para su eventual disposición final o valorización (MINAM, 2020).

e. Disposición final.

Es el proceso de tratamiento y disposición de los residuos sólidos de manera permanente, ambientalmente segura y sanitaria; en el cual, los residuos que no puedan valorizarse deberán ser aislados y/o confinados en infraestructuras técnicas autorizadas, de acuerdo con sus características biológicas, químicas y físicas de los residuos con el fin de eliminar el riesgo potencial de causar daños al medio ambiente o a la salud (MINAM, 2020). Un componente importante de la gestión integral de residuos para una disposición segura y confiable de los residuos, estando entre los métodos más reconocidos de disposición de los residuos sólidos los rellenos sanitarios, considerados hoy en día como la mejor solución ambiental, económica y técnica (Rondón et al., 2016).

2.2.5 Gases de efecto invernadero

Componente gaseoso natural o antropogénica de la atmósfera, que absorbe y emite radiación en ciertas longitudes de onda del espectro de radiación terrestre emitida por la superficie del planeta, las nubes y la atmósfera; este atributo contribuye al efecto invernadero, siendo los GEI más frecuentes en la atmósfera terrestre el dióxido de

carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄), el vapor de agua (H₂O) y el ozono (O₃) (IPCC, 2013). Se entiende que el calentamiento global produce el cambio climático a escala mundial y se genera por la producción y acumulación de GEI en la atmósfera terrestre (MINAM, 2016).

2.2.6 Huella de carbono

El tema del cambio climático y el calentamiento global se ha convertido en una preocupación central para el desarrollo sostenible; numerosos gobiernos están reduciendo sus emisiones de GEI (WBCSD y WRI, 2005); ante esto, la huella de carbono parece ligada al problema del cambio climático ya la reducción de las emisiones (Fernández, 2015). Donde calcular la huella de carbono es fundamental para comprender cómo las actividades de una organización impactan en la sostenibilidad global (Loyarte-López et al., 2020). Debido a que estima la cantidad total de dióxido de carbono y otros GEI relacionados con un producto, una organización o una persona, es uno de los instrumentos más importantes para calcular y mitigar el efecto ambiental del cambio climático (Palacios, 2012). existiendo una agenda de investigación global para identificar fuentes y sumideros de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en una amplia gama de escalas. Han surgido muchos ejemplos que apuntan a comprender los perfiles de emisión; para productos, individuos, áreas urbanas y naciones enteras, que difieren en las fuentes de emisión englobadas en ellos (Robinson, 2018)

Según Valderrama et al. (2011), la huella de carbono podría ayudar a una organización en distintos enfoques:

- Creando en la cadena de valor transparencia en relación a los procesos y las partes interesadas.
- Incrementa la conciencia sobre la emisión de GEI e identifica las particularidades de los procesos en extremas emisiones, identificando a los responsables de este.
- Identifica áreas con potencial para la reducción de emisiones, y lograr optimizar costos y operaciones.
- Contar con la eficacia de una herramienta para la gestión ambiental y energética de la organización, a través de un adecuado manejo de las emisiones de CO₂-eq.
- Establece una base de información que ayuda a preveer sobre futuras regulaciones.

- Evalúa y analiza la relevancia de las emisiones de GEI en comparación de otros impactos que un producto pueda tener sobre el medio ambiente.
- Fortalecer la posición competitiva de la empresa comunicándose con las partes interesadas a través de etiquetas o informes de sostenibilidad corporativa.

Para Ihobe (2012), la huella de carbono es la cantidad total de GEI producidos por un servicio, producto u organización, ya sea directa o indirectamente, la cual se debe elaborar un inventario de GEI expresado en toneladas de CO₂-eq, tomando en consideración las seis categorías de gases especificadas por el Protocolo de Kioto (N₂O, CH₄, CO₂, SF₆, HFC y PFC). Dado que la fabricación, distribución, almacenamiento, uso y disposición final de todos los productos y servicios tienen una influencia sobre el medio ambiente debido a la emisión de GEI; la huella de carbono surge como un método para cuantificar el impacto de estos gases (Valderrama et al., 2011).

Por otro lado, Palacios (2012), el Centro de Sistemas Sostenibles de la Universidad de Michigan sostiene que estas emisiones no solo están asociadas con un producto o servicio sino también con un evento, institución o persona, y se estiman agregando las emisiones provenientes de todo el ciclo de vida o existencia de un servicio o producto.

2.2.7 Protocolo de gases de efecto invernadero.

WBCSD y WRI (2004), indica que:

La Iniciativa del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero es una asociación de empresas de gran variedad organizaciones no gubernamentales (ONG), académicos, gobiernos, y otras partes interesadas convocadas por el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD) y el Instituto de Recursos Mundiales (WRI); Lanzada en 1998, siendo la misión de la iniciativa es desarrollar internacionalmente normas y / o protocolos de contabilidad y presentación de informes de GEI, y promover una adopción amplia.

Así mismo, el *GHG Protocol* ha alcanzado un alto grado de aceptación global y es la principal referencia; además de ser una referencia para recomendaciones generales, el protocolo de GEI ha establecido una serie de herramientas para ayudar a los usuarios a calcular las emisiones de GEI para fuentes o sectores individuales; estas herramientas son compatibles con las sugeridas por el IPCC para la compilación de emisiones a nivel nacional (WRI y WBCSD, 2005).

a. Estándar corporativo de contabilidad y reporte del protocolo de GEI.

Esta guía se ha desarrollado en gran parte desde el punto de vista de las empresas que compilan un inventario de GEI; sin embargo, también se aplica a otros tipos de organizaciones cuyas actividades están vinculadas a las emisiones de GEI, como universidades, agencias gubernamentales y organizaciones no gubernamentales (WRI y WBCSD, 2005).

Los principios en los cuales deben basarse la contabilidad y el reporte de GEI son los siguientes (WRI y WBCSD, 2005):

- **Relevancia:** Asegurándose que el inventario de GEI represente con precisión las emisiones de la organización y sirva como un factor objetivo en la toma de decisiones para los grupos de interés tanto internos como externos.
- **Integridad:** Da como resultado una contabilidad e informes completos para todas las actividades y fuentes de emisión de GEI dentro del límite del inventario, donde cualquier excepción a esta debe ser divulgada y debidamente justificada.
- **Consistencia:** Utilizando métodos consistentes que proporcionen comparaciones significativas de emisiones en periodos de tiempo amplios, documentando claramente cualquier modificación a los límites de inventario, datos de una serie de tiempo, técnicas de cálculo o cualquier otra variable importante.
- **Transparencia:** Basado en una ruta de auditoría clara, abordando todas las inquietudes importantes o relevantes de una manera objetiva y consistente; revelando todos los supuestos clave y haciendo referencia a los métodos de contabilidad y cuantificación, así como a las fuentes de información.
- **Precisión:** Asegurándose que el cálculo de las emisiones de GEI no presente errores sistemáticos o desviaciones de las emisiones reales, en la medida en que pueda evaluarse y de una manera que minimice la incertidumbre en la mayor medida posible; siendo vital obtener suficiente precisión para permitir a los usuarios emitir juicios con una seguridad aceptable con respecto a la veracidad de la información proporcionada.

Se desarrollan tres "alcances" para ayudar a distinguir entre fuentes de emisiones directas e indirectas, y así aumentar la transparencia y dar información con valor a varios tipos de organizaciones y políticas de cambio climático y objetivos organizacionales (WRI & WBCSD, 2005):

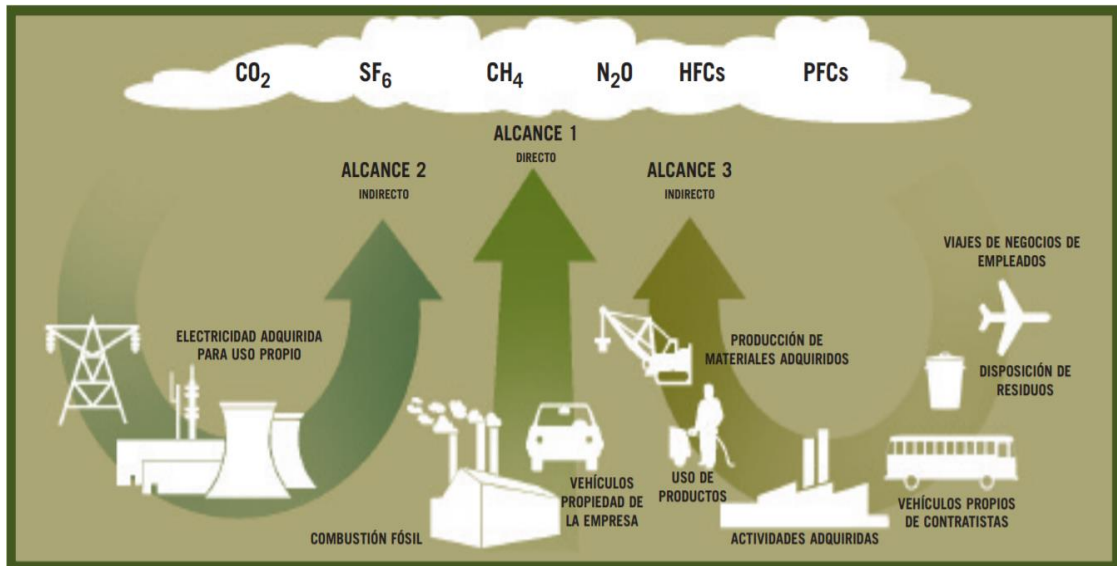


Figura 1. Tipos de emisión.
Fuente: WRI y WBCSD (2005).

- **Alcance 1:** Son emisiones directas las cuales se generan de fuentes que son controladas de o propiedad de la organización.
- **Alcance 2:** Son emisiones indirectas de GEI que están relacionadas a la adquisición de energía eléctrica, incluyendo las emisiones generadas por la electricidad adquirida y consumida por la organización.
- **Alcance 3:** Son otras emisiones indirectas, establecidas en una categoría de reporte opcional, permitiendo incluir otras emisiones indirectas; estas emisiones son producto de las actividades de la organización, pero se suscitan de fuentes que no son controladas ni son propiedad de la organización.

b. Estándar de contabilidad y de reporte para las ciudades.

El estándar de contabilidad para ciudades

Establece pautas generales y específicas del sector para la recopilación de datos y el cálculo de emisiones, definiendo una ciudad como cualquier entidad subnacional geográficamente discernible, como una provincia, ciudad, pueblo, o comunidad, abarcando todos los niveles subnacionales de jurisdicción y gobiernos locales como legales de la administración pública (WRI y WBCSD, 2014). El total de gases que se generan en cada ciudad se relacionan a sus características, diferenciándose según sus actividades económicas específicas y de la dinámica de su población (Quiroz, 2013).

Las emisiones de GEI que son generadas por las actividades de cada ciudad se pueden categorizar en cinco sectores primordiales (WRI y WBCSD, 2014):

- Energía estacionaria.
- Transporte.
- Procesos industriales y uso de productos.
- Agricultura, silvicultura y otros usos del suelo.
- Residuos.

b.1 *Inventario de emisiones en el sector residuos.*

Para “el inventario de GEI los residuos sólidos pueden ser generados y tratados dentro de los límites de la misma ciudad, o en diferentes ciudades. A efectos de contabilidad, se aplican las siguientes reglas” (WRI y WBCSD, 2014):

- ***Alcance 1:*** Son emisiones que proveniente del tratamiento y la disposición de desechos, dentro de los límites fronterizos de la ciudad, independientemente de si los desechos son generados dentro o fuera de los límites fronterizos de la ciudad.
- ***Alcance 3:*** son emisiones que provienen de los desechos que son generados por la ciudad, pero vienen siendo tratados o dispuestos fuera de los límites de la ciudad.

La cuantificación de las emisiones de GEI que proveniente de la disposición de residuos sólidos viene siendo determinada por dos principales factores: la cantidad de carbono orgánico degradable (DOC) y la masa de residuos depositados dentro de los residuos, esto determina el potencial de generación de metano (WRI y WBCSD, 2014).

2.2.8 Descomposición de primer orden (FOD)

El IPCC (2006) explica que:

Este método plantea la hipótesis de que el carbono orgánico degradable (COD) de los desechos se descompone lentamente durante algunas décadas , tiempo durante el cual se forman CO₂ y CH₄; si las condiciones logran permanecen constantes, la tasa de generación de CH₄ dependerá únicamente de la cantidad de carbono que queda en el residuo; en consecuencia, las emisiones de CH₄ de los desechos depositados en un vertedero son mayores durante los primeros años posteriores a la eliminación y luego disminuyen a medida que las bacterias consumen el carbono degradable en los

desechos; teniendo la capacidad de estimar estas emisiones para periodos de tiempo más precisos y especificados .

Por lo cual, la suposición por defecto es que la generación de CH₄ a partir de todos los residuos depositados cada año comienza el primer día de enero del año siguiente a la disposición (IPCC, 2006).

CAPITULO III

MATERIALES Y METODO

3.1 Enfoque de investigación

El estudio presenta un diseño bajo el planteamiento metodológico del enfoque cuantitativo, centrándose en el análisis estadístico de las emisiones de gases de efecto invernadero y el grado de valorización para explicar su naturaleza.

3.2 Diseño de la investigación

Considerando el sustento teórico, el nivel de la investigación es explicativo, lo que permite conocer a detalle el grado en que la valorización influye en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos.

Así mismo, dado que el objetivo del estudio fue determinar la influencia de la valorización en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, se recurrió a un estudio de diseño no experimental que se aplicó de manera transversal.

3.3 Unidad de estudio y análisis

El espacio geográfico donde se realizó el estudio fue el distrito de San Miguel, provincia de San Román, departamento de Puno, siendo la unidad de análisis el sistema de gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) y la unidad de observación los procesos de la misma.

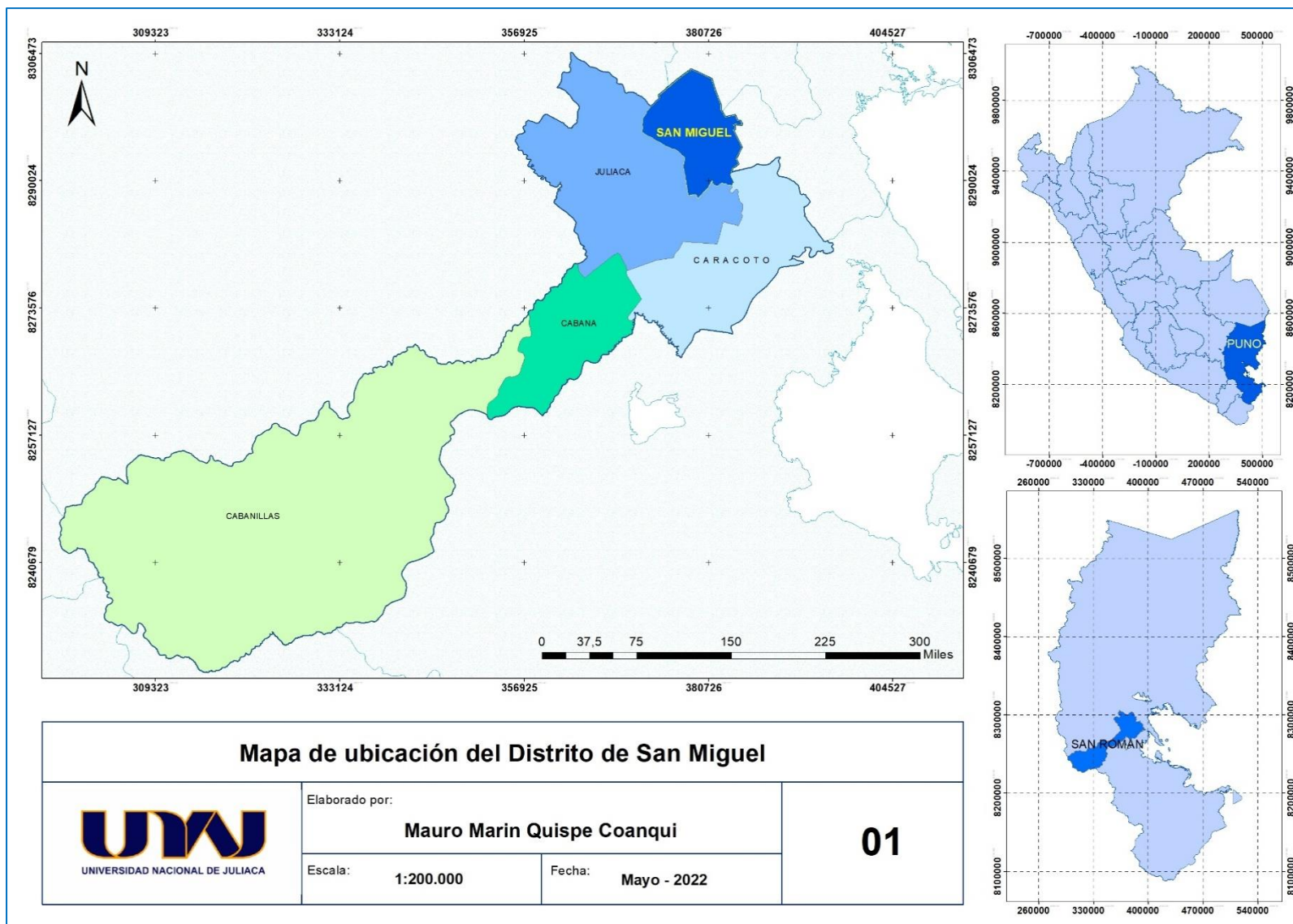


Figura 2. Mapa de ubicación del distrito de San Miguel.

3.4 Operacionalización de variables

Tabla 1.

Operacionalización de variables.

Variable	Indicadores	Valor final de medida	Tipo de variable
<u>Variable dependiente:</u> Emisiones de gases de efecto invernadero	Huella de carbono	Toneladas CO ₂ .eq	Numérica - Continua
<u>Variable Independiente:</u> Valorización de residuos solidos	Residuos sólidos orgánicos valorizados Residuos sólidos inorgánicos valorizados	Toneladas Toneladas	Numérica - Continua

3.5 Materiales y equipos

Se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Computadora Core i5.
- Impresora Multifuncional Epson.
- Millar de papel.
- Útiles de escritorio.
- Tablilla.
- Modem de internet.
- Formatos de levantamiento de información.

3.6 Técnicas de recolección de datos

La técnica de estudio fue de tipo documental, por lo cual, se realizó visitas periódicas a la Municipalidad Distrital de San Miguel, con el fin de sistematizar los datos en las fichas de administración de la información, desarrolladas según los requerimientos de las fases de los métodos de cuantificación.

3.7 Método de análisis de datos

La data recopilada fue analizada estadísticamente mediante el uso del *software SPSS*, que fue diseñado para estudios con datos cuantitativos y es capaz de determinar la relación de

causalidad entre las variables. Por otro lado, se presenta los resultados de carácter descriptivo e inferencial para las variables estudiadas; se consideró la prueba de normalidad de *Sharpiro-Wilks*, encontrándose que la información presenta un comportamiento paramétrico, por lo cual, se hizo uso del coeficiente de relación de Pearson para la prueba de hipótesis. Finalmente, para determinar causalidad, se realizó el análisis de regresión lineal simple, donde se predijo el porcentaje de influencia sobre la variable dependiente.

3.8 Procedimiento metodológico de cuantificación de los GEI

Para la estimación de los GEI se utilizó el “Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (*GHG Protocol*)”, siendo estas:

- Estándar corporativo de contabilidad y reporte.
- Estándar de contabilidad y de reporte para las ciudades.

Siendo la ruta a tener en consideración para la elaboración del inventario y la estimación de los GEI del sistema de gestión de residuos sólidos urbanos, según la delimitación de los alcances.

3.8.1 Cálculo de emisiones por actividades asociadas al tratamiento y disposición de RRSS.

Para la cuantificación de emisiones por actividades asociadas al tratamiento y disposición de residuos sólidos urbanos, se procedió según la guía del estándar corporativo de contabilidad y reporte.

En cumplimiento de la metodología *GHG Protocol*, se definieron los siguientes puntos:

a. Año base de estudio.

Siendo un periodo histórico específico, este se toma para comparaciones futuras, estudiando la evolución de las emisiones a lo largo del tiempo. Por lo cual, el año base tomado para el estudio fue el año 2021, con el intervalo de tiempo entre enero a diciembre.

b. Límites organizacionales.

Se delimitaron según los cinco principios de la metodología establecida, el límite organizacional del estudio se estableció bajo un enfoque de control operacional, lo cual indica que, la alta dirección tiene facultad plena para generar e implementar sus políticas operativas en sus actividades, siendo la Sub Gerencia de Limpieza, Parques y Residuos

Sólidos con la Unidad de Limpieza pública y la Unidad de Segregación, los límites del sistema para la cuantificación de las emisiones.

c. Límites operacionales.

La clasificación y definición de las fuentes de emisiones de GEI, se hicieron según lo establecido en la metodología, que incluye: emisiones directas. En ese sentido, la fuente de emisión que se consideró para estimar las emisiones se estableció por el alcance, como se observa en la tabla 2.

Tabla 2.

Límites operacionales.

Alcance	Tipo de emisión	Observación
Alcance 1	Emisiones directas	Las emisiones directas ocurren de fuentes que son propiedad de o están controladas por la organización. Para el estudio las fuentes de emisión se establecieron por emisiones asociadas a transporte de residuos sólidos para disposición y valorización, siendo la fuente el uso de combustible por características de la unidad motorizada.

d. Identificación de las fuentes de emisión.

Se localizaron las fuentes de emisión, consecuencia de las actividades de la gestión de residuos sólidos en función a los límites organizacionales y operacionales determinados, según las características establecidas en la tabla 3.

Tabla 3.

Características para la identificación de fuentes de emisión.

Fuente de emisión	Proceso	Tipo de GEI	Área de emisión
Móvil	Recolección y Transporte de residuos	CO ₂ , CH ₄ , y N ₂ O	Distrito de San Miguel

e. Cálculo de emisiones.

- **Selección de un método de cálculo:** El cálculo total de las emisiones de las actividades de la gestión de los residuos sólidos del distrito de San Miguel, es consecuencia de la sumatoria de los valores de emisión de GEI, de las fuentes determinadas en los límites operacionales. Para obtener el valor individual de las emisiones expresado en toneladas de CO₂.eq, se utilizó la siguiente fórmula, según *GHG Protocol*:

$$\text{“Emisiones de GEI (Tonelada GEI) = Datos de actividades x Factor de emisión”}$$

Para la conversión a dióxido de carbono equivalente (CO₂-eq), se multiplicará el resultado de las emisiones de GEI por su potencial de calentamiento global, con tiempo dado de horizonte para 100 años.

$$\text{Emisiones (CO}_2\text{-eq)} = \text{Dato de emisión} \times \text{Potencial de calentamiento global}$$

Tabla 4.

Potencial de calentamiento global.

GEI	Fórmula química	Potencia de calentamiento global
Dióxido de carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	28
Óxido nitroso	N ₂ O	265

Fuente: IPCC (2015).

- **Recolección de datos de actividades y elegir factores de emisión:** Las emisiones de alcance 1 fueron calculadas con base en las cantidades adquiridas de combustibles comerciales, como parte de la adquisición de recursos para el cumplimiento del objetivo del proceso de recolección y transporte de residuos, utilizando para todo ello los factores de emisión publicados.

Tabla 5.

Factores de emisión.

Tipos de combustible	Unidad	Factor de Emisión (kg/Unidad)		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Gasolina para motores	TJ	69300.00	3.00	0.60
Diesel B5		74100.00	3.00	0.60

Fuente: IPCC (2015).

- **Cálculo de emisiones de alcance 1 (fuente móvil):** Para calcular la emisión por consumo de combustibles fósiles, se tomó en cuenta la generada en consecuencia por la quema de combustibles como parte del proceso de recolección y transporte de residuos.

Se determinó en base a la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones de GEI (Ton.CO}_2\text{-eq)} = \sum (\text{Emisiones GEI CO}_2 + \text{Emisiones GEI CH}_4 \times \text{PCG.CH}_4 + \text{Emisiones GEI N}_2\text{O} \times \text{PCG.N}_2\text{O})$$

Donde:

- Emisiones GEI: Emisiones GEI en toneladas CO₂-eq.
- PCG.CH₄, N₂O: Potencial de calentamiento global según tipo de gas.

Previamente, en base a la información recopilada se determinó la cantidad de combustible fósil quemado y convertido en energía por el proceso de recolección y transporte al año 2021.

Determinada por la siguiente ecuación:

$$\text{Consumo } TJ_{\alpha} = \sum (\text{ConsumoCombustible}_{\alpha} \times VCN_{\alpha})$$

Donde:

- Consumo TJ_α: Consumo en TJ, al año, por tipo de combustible para transporte (terrestre, aviación, ferroviario, marítimo y fluvial)
- ConsumoCombustible_α: Combustible consumido por tipo (gal, m³, l)
- VCN_α: Valor calórico neto por tipo de combustible

Para la conversión de los datos de combustible, en unidades de masa, se identificó la densidad y valores caloríficos netos de cada tipo de combustible.

Tabla 6.

Densidad y Valor calorífico neto por tipo de combustibles.

Tipo de combustible	Densidad (kg/l)	VCN (kJ/kg)
Gasohol 90 Plus	0.718	47 729
Diésel B5	0.87	45 500

Fuente: IPCC (2006).

A continuación, se calculó las emisiones de GEI (CO₂, NH₄ y N₂O), por tipo de combustible quemado en las actividades, empleándose la siguiente formula:

$$\text{Emisiones } GEI (CO_2, NH_4 \text{ y } N_2O)_{\alpha} = \text{Consumo } TJ_{\alpha} \times FE_{\alpha}$$

Donde:

- Emisiones GEI (CO₂, NH₄ y N₂O)_α: emisiones de GEI (CO₂, NH₄ y N₂O) por tipo de combustible (α) en T/año.
- Consumo TJ_α: Consumo en TJ por tipo de combustible (α).

- FE_a: Factor de emisión de CO₂ por tipo de combustible.

3.8.2 Cálculo de emisión por tratamiento y disposición de RRSS.

Se procedió según la guía del estándar de contabilidad y de reporte para las ciudades y las directrices del IPCC del 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero – Desechos, reportando las emisiones de GEI que procedente de la disposición de residuos generados por el distrito de San Miguel y dispuestos en la parcialidad de Huanuyo, distrito de Cabanillas.

En tal sentido, según la guía del estándar de contabilidad y de reporte para las ciudades los residuos sólidos del distrito de San Miguel presentan la clasificación que muestra en la tabla 7.

Tabla 7.

Clasificación de emisiones de residuos sólidos del distrito de San Miguel.

Alcance	Tipo de emisión de residuos	Observación
Alcance 1	Emisiones provenientes de los residuos tratados dentro de la ciudad	Incluye todas las emisiones de GEI provenientes del tratamiento biológico (elaboración de abono orgánico), dentro de los límites de la ciudad.
Alcance 2	No aplicable	-
Alcance 3	Emisiones provenientes de los residuos generados por la ciudad, pero tratados fuera de la ciudad	Esto incluye todas las emisiones de GEI provenientes de la disposición de los residuos generados por el distrito de San Miguel, pero dispuestos en una instalación fuera de los límites de la ciudad.

Fuente: Adaptado de WRI y WBCSD (2014).

a. Definición de los tipos de residuos y procedimientos de cálculo general.

Se definió los tipos de residuos para estimar el CH₄, CO₂, y N₂O generadas por las actividades del sistema de gestión de residuos:

- Disposición de residuos sólidos en basurales o vertederos, incluidas la disposición en sitios no regulados, la disposición en un vertedero regulado o la disposición en un vertedero sanitario.
- Tratamiento biológico de residuos sólidos.

Se procedió a estimar las emisiones por la generación de residuos sólidos para disposición y en escenario de gestión de residuos municipales al año 2021, con la finalidad de evidenciar los atributos de valorización de los residuos, con los siguientes métodos:

a.1 *Descomposición de primer orden (FOD).*

La ecuación para estimar las emisiones por el modelo de descomposición de primer, se procedió con los siguientes cálculos:

- La masa de DOC descomponible (DDOCm) a partir de la cantidad de material de residuos (W) es igual:

$$DDOCmd_T = W_T \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot MCF$$

- La cantidad de DDOCm depositada restante sin descomponer al final del año de depósito T:

$$DDOCmrem_T = DDOCmd_T \cdot e^{(-k \cdot ((13-M)/12))}$$

- La cantidad de DDOCm depositada descompuesta durante el año de depósito T:

$$DDOCmdec_T = DDOCmd_T \cdot (1 - e^{(-k \cdot ((13-M)/12))})$$

- La cantidad de DDOCm acumulada en los SEDS al final del año T:

$$DDOCma_T = DDOCmrem_T + (DDOCma_{T-1} \cdot e^{-k})$$

- La cantidad total de DDOCm descompuesta en el año T:

$$DDOCmdecomp_T = DDOCmdec_T + (DDOCma_{T-1} \cdot (1 - e^{-k}))$$

- La cantidad de CH₄ generado a partir de DOC descompuesto:

$$CH_4 \text{ generador}_T = DDOCmdecomp_T \cdot F \cdot 16/12$$

- La cantidad de CH₄ emitida:

$$CH_4 \text{ emitido en el año } T = (\sum CH_4 \text{ generador}_{x,T} - R_T) \cdot (1 - OX_T)$$

Donde:

- T = el año del inventario.
- x = fracción material/categoría de desecho.
- W_T = cantidad depositada en el año T.
- MCF = Factor de corrección de metano
- DOC = Carbono orgánico degradable (en condiciones aeróbicas).
- DOC_f = Fracción de DOC que se descompone en condiciones anaeróbicas.
- DDOC = Carbono Orgánico Degradable Descomponible (en condiciones anaeróbicas).

- $DDOC_{mdT}$ = masa de DDOC depositada año T.
- $DDOC_{mremT}$ = masa de DDOC depositada en el año de inventario T, restante sin descomponer al fin de año.
- $DDOC_{mdectT}$ = masa de DDOC depositada en el año de inventario T, descompuesta durante el año.
- $DDOC_{maT}$ = masa total de DDOC que quedó sin descomponer al final del año T.
- $DDOC_{maT-1}$ = masa total de DDOC que quedó sin descomponer al final del año T-1.
- $DDOC_{mdecompT}$ = masa total de DDOC descompuesta en el año T.
- $CH_4_{generadoT}$ = CH_4 generado en el año T.
- F = Fracción de CH_4 por volumen en el gas de vertedero generado.
- 16/12 = Relación de peso molecular CH_4/C .
- R_T = CH_4 recuperado en el año T.
- OX_T = Factor de oxidación en el año T (fracción).
- k = constante de velocidad de reacción.
- M = Mes de inicio de la reacción.

A continuación, se detalla los valores condicionales para la emisión de GEI, referenciadas de las directrices del IPCC, para inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (Anexo II):

- Cantidad de carbono orgánico degradable por tipo de desecho (DOC).
- Factor de corrección del metano.
- Fracción del carbono orgánico degradable que se descompone (DOC_f).
- Fracción de CH_4 en el gas de vertedero generado (F).
- Factor de oxidación (OX).
- Índice de decaimiento por el tipo de residuo.

a.2 Tratamiento biológico de los desechos sólidos.

Para el cálculo de emisiones de CH_4 por tratamiento biológico se procedió con la ecuación que se presenta a continuación:

$$Emisiones\ de\ CH_4 = \sum_i (M_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-3} - R$$

Donde:

- Emisiones de CH₄ = total de las emisiones de CH₄ durante el año del inventario, Gg de CH₄.
- M_i = masa de los desechos orgánicos sometidos al tratamiento biológico i, Gg.
- EF_i = factor de emisión del tratamiento i, g de CH₄/kg. de desechos tratados.
- i = preparación de abono orgánico o digestión anaeróbica.
- R = cantidad total de CH₄ recuperado durante el año del inventario, Gg de CH₄.

Así mismo, para el cálculo de emisiones de N₂O por tratamiento biológico se procedió con la ecuación que se presenta a continuación:

$$\text{Emisiones de N}_2\text{O} = \sum i (M_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-3}$$

Donde:

- Emisiones de N₂O = total de las emisiones de N₂O durante el año del inventario, Gg de N₂O.
- M_i = masa de los desechos orgánicos sometidos al tratamiento biológico i, Gg.
- EF_i = factor de emisión del tratamiento i, g de N₂O /kg. de desechos tratados.
- i = preparación de abono orgánico o digestión anaeróbica.

A continuación, en la tabla 8, se detalla los valores condicionales para la emisión de GEI por tratamiento biológico, referenciadas de las directrices del IPCC, para inventarios nacionales de gases de efecto invernadero

Tabla 8.

Factores de emisión para el tratamiento biológico de los desechos.

Tipo de tratamiento biológico	Factor de emisión de:			
	CH ₄ (g de CH ₄ /kg. de desechos tratados)		N ₂ O (g de N ₂ O/kg. de desechos tratados)	
	sobre la base de peso en seco	sobre la base de peso húmedo	sobre la base de peso en seco	sobre la base de peso húmedo
Preparación de abono orgánico (compost)	10 (0,08 - 20)	4 (0,03 - 8)	0,6 (0,2 - 1,6)	0,3 (0,06 - 0,6)

Fuentes: IPCC (2006).

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presenta el análisis descriptivo de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y el análisis inferencial de la influencia de la valorización de residuos sólidos en las emisiones de GEI del sistema de gestión.

4.1 Análisis descriptivo de las emisiones de GEI

El siguiente apartado presenta el desglose del inventario de emisiones como resultado de las características del sistema de gestión de residuos sólidos del distrito de San Miguel, estableciendo el análisis descriptivo según cada etapa que conforma la propuesta metodológica en la cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero emitidas en el distrito de San Miguel.

4.1.1 Sistema de gestión de residuos sólidos del distrito San Miguel al año 2021

a. *Características de los residuos sólidos urbanos del distrito de San Miguel.*

Tabla 9.

Composición física de los residuos sólidos municipales.

Tipo de residuo sólidos	Domiciliario	No domiciliario	Composición
	Composición	Composición	general
	%	%	%
1. Residuos aprovechables	77.58	77.84	77.71
1.1. Residuos Orgánicos	65.39	50.27	57.83
1.2. Residuos Inorgánicos	12.19	27.57	19.88
1.2.1. Papel	1.26	5.41	3.34
1.2.2. Cartón	2.09	4.22	3.16
1.2.3. Vidrio	2.34	5.63	3.99
1.2.4. Plástico	4.80	11.03	7.92
1.2.5. Tetra brik (envases multicapa)	0.00	0.00	0.00
1.2.6. Metales	1.70	1.28	1.49
1.2.7. Textiles (telas)	0.00	0.00	0.00
1.2.8. Caucho, cuero, jebe	0.00	0.00	0.00
2. Residuos no reaprovechables	22.42	22.16	22.29
TOTAL	100.00	100.00	100.00%

Fuente: MDSM (2019).

Como se evidencia en la tabla 9 y figura 3, en la composición porcentual física de los residuos sólidos determinados del distrito de San Miguel, se observa que los residuos aprovechables representan altos valores del total de los residuos sólidos generados por la población, observándose un valor del 77.71%, respecto a los residuos de carácter no aprovechables con un valor de 22.29%. Así mismo, estos residuos aprovechables están conformados por los residuos orgánicos e inorgánicos, con valores del 50.27% y 19.88% respectivamente, siendo de este último el más representativo los residuos de tipo plástico representado con un valor de 7.92% del total de residuos sólidos generados por la población, esto a su vez representa la potencialidad de residuos susceptibles a ser valorizados.

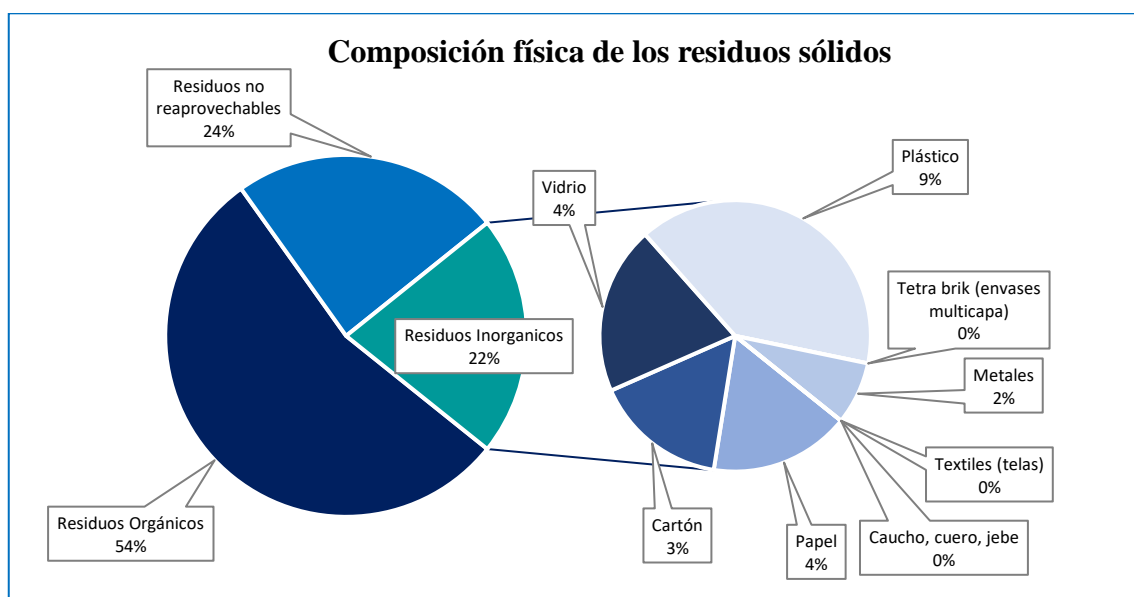


Figura 3. Composición física de los residuos sólidos del municipio de San Miguel.
Fuente: adaptado de MDSM (2019).

Por otro lado, las directrices de IPCC establecen un esquema de composición por componente de desechos sólidos municipales para la estimación de las emisiones de GEI; por lo cual, se presenta en la tabla 10 y figura 4, la adaptación por componente y la participación de los desechos sólidos municipales.

Tabla 10.

Composición física de los residuos sólidos municipales según requerimientos del IPCC.

Componente de DSM	Domiciliario %	No domiciliario %	Total %
Pulpa de papel, cartones y otros	3.35	9.63	6.49%
Textiles	0.00	0.00	0.00%
Comida, residuos de comida, tabaco y otros	64.28	49.18	56.73%
Madera y productos de madera	0.00	0.00	0.00%
Residuos de jardines y parques	1.11	1.09	1.10%
Residuos sanitarios	9.14	7.11	8.13%
Cuero	0.00	0.00	0.00%
Plásticos	4.80	11.03	7.92%
Metal	1.70	1.28	1.49%
vidrio	2.34	5.63	3.99%
Desechos inertes y Otros	13.28	15.05	14.17%
Total	100.00	100.00	100.00%

Fuente: Adaptado de MDSM (2019).

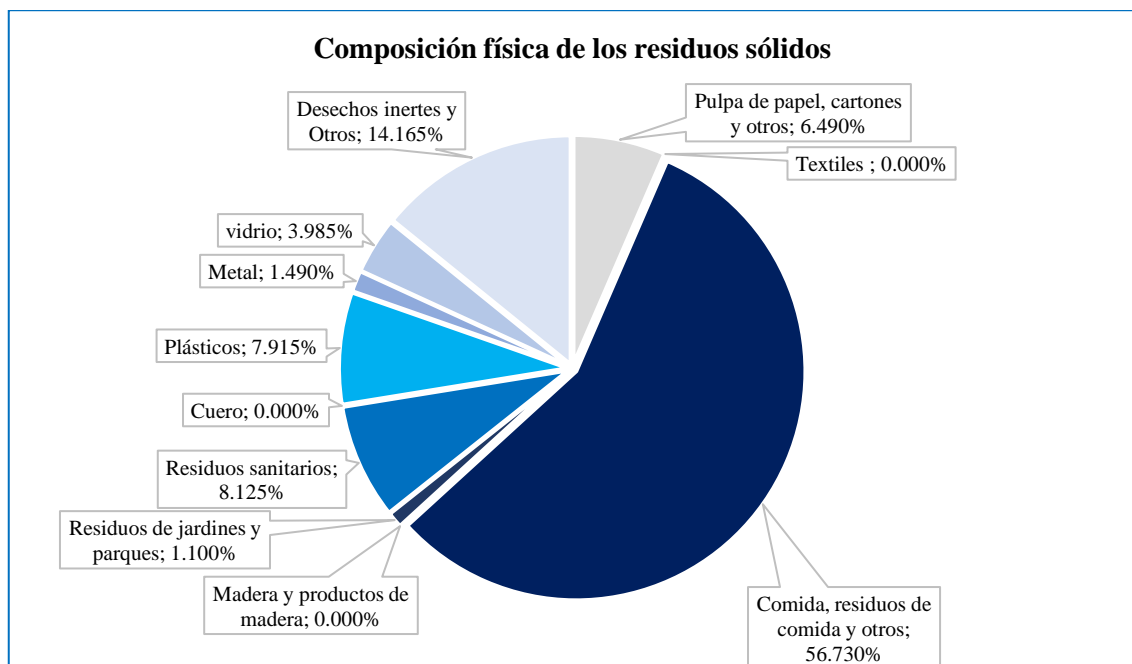


Figura 4. Composición física de los residuos sólidos según requerimiento del IPCC.

Fuente: Adaptado de MDSM (2019).

Según el estudio de caracterización de residuos sólidos del distrito de San Miguel, realizado en una población de 60850 habitantes, se pudo observar una generación per cápita de 0.55 kg por persona al día, presentando una generación total de 33.55 toneladas de residuos sólidos por día (MDSM, 2019).

Tabla 11.

Generación de residuos sólidos municipales total y Per-cápita.

Población:	Generación de RRSS domiciliarios (Ton/día)	Generación de RRSS no domiciliarios (Ton/día)	Generación Promedio (Ton/día)	Gen. Per-Cap. (kg/persona-día)
60850	30.43	3.12	33.55	0.55

Fuente: MDSM (2019).

Así mismo, entre las características de generación de residuos sólidos del distrito, se estima que los residuos orgánicos presentan un 80.77% de contenido de humedad.

Tabla 12.

Contenido de humedad de los residuos sólidos orgánicos.

Tipo de residuo sólidos	Contenido de humedad
Residuos Orgánicos	80.77%

Fuente: MDSM (2019).

En base a data del estudio de caracterización de los residuos sólidos del distrito de San Miguel del año 2019, se proyecta la generación de residuos generados en el 2021, fundamentada en la tasa de crecimiento poblacional de la Provincia de San Román, la cual se presenta en la tabla 13.

Tabla 13.

Proyección de la generación de residuos del distrito de San Miguel (2019-2021).

Año	Población	Generación de RRSS domiciliarios (Ton/año)	Generación de RRSS no domiciliarios (Ton/año)	Generación de RRSS municipales (Ton/año)
2019	60850	11106.95	1138.80	12245.18
2020	62371*	11382.71	1138.27	12520.98
2021	63931*	11667.41	1166.74	12834.15

Nota: *la provincia de San Román del departamento de Puno, presenta una tasa de crecimiento poblacional del 2.5% anual. Fuente: INEI (2012).

Por lo cual, en la tabla 14, se presenta la cantidad de residuos sólidos municipales para disposición al año 2021 en base al esquema de composición por componente de desechos sólidos municipales.

Tabla 14.

Cantidad de residuos sólidos municipales para disposición al año 2021.

Componente de DSM	Total (Ton/año)
Pulpa de papel, cartones y otros	832.94
Textiles	0.00
Comida, residuos de comida y otros	7280.81
Madera y productos de madera	0.00
Residuos de jardines y parques	141.18
Residuos sanitarios	1042.77
Cuero	0.00
Plásticos	1015.82
Metal	191.23
vidrio	511.44
Desechos inertes y Otros	1817.96
Total	12834.15

Fuente: adaptado de MDSM (2019).

En consecuencia, de lo mencionado anteriormente, en la tabla 15 se establece la proyección de residuos sólidos aprovechables (valorizables) del distrito de San Miguel al 2021.

Tabla 15.

Proyección de la generación de residuos valorizables del distrito de San Miguel (2019-2021).

Año	Generación de RRSS municipales (Ton/año)	Generación de RRSS Aprovechables (Ton/año)	Generación de RRSS orgánicos (Ton/año)	Generación de RRSS inorgánicos (Ton/año)
2019	12245.18*	9515.73*	7081.39*	2434.34*
2020	12520.98	9730.05	7240.88	2489.17
2021	12834.15	9973.42	7421.99	2551.43

* Fuente: MDSM (2019).

b. *Recolección y transporte de residuos.*

Este proceso tiene como fin el evitar la generación de puntos críticos de residuos sólidos en las vías peatonales del distrito; así mismo, el servicio es de administración directa.

Para el 2021, la municipalidad contó con cinco (5) vehículos destinados a la recolección de residuos, de los cuales tres (3) vehículos compactadores de 15 m³ de capacidad son destinados al uso de recolección y transporte de residuos para disposición final; por otro

lado, dos (2) vehículos denominados moto carga con capacidad de 100 kg, son destinados para uso de recolección y transporte de residuos orgánicos reaprovechables para su valorización. Asu vez, para la recolección de residuos sólidos inorgánicos se cuenta con la participación de asociaciones de recicladores empadronados a los cuales se les asigna rutas de recolección; por lo cual, los vehículos usados no son contralados operativamente por la municipalidad.

Tabla 16.

Características de vehículos de uso para el proceso de recolección y transporte.

Vehículo	Características	Marca	Modelo	Actividad destinada
C - 01	Camión compactador de 15 m ³	Mercedes Benz	ATEGO 1623	Recolección y transporte de residuos para disposición final.
C - 02	Camión compactador de 15 m ³	Mercedes Benz	-	
C - 03	Camión compactador de 15 m ³	Mercedes Benz	-	
V - 01	Moto carga	Yansumi	YS 2501X	Recolección y transporte de residuos reaprovechables para su valorización.
V - 02	Moto carga	Yansumi	YS 2501X	

c. Valorización de residuos sólidos.

La municipalidad distrital de San Miguel, viene realizando de manera consecutiva desde años anteriores el programa de segregación y recolección selectiva de residuos aprovechables (valorizables), en el marco del Programa de Incentivos a la Mejora de la Gestión Municipal del Ministerio de Economía y Finanzas – MEF y el ministerio del Ambiente – MINAM.

La recolección selectiva de residuos sólidos de viviendas, establecimientos e instituciones participantes en la valorización de residuos orgánicos para la producción de compost, está a cargo del municipio; como se observa en la tabla 17, para el año 2021 se recolecto 279.67 toneladas, de las cuales 270.98 fueron valorizadas.

Tabla 17.

Residuos sólidos orgánicos recolectados y valorizados al año 2021.

Descripción	Recolectado (Ton)	Valorizado (Ton)
Enero	23.75	22.60
Febrero	25.59	24.13
Marzo	27.54	26.35
Abril	23.68	22.62
Mayo	20.87	20.45
Junio	19.77	19.09
Julio	23.02	22.46
Agosto	23.17	22.91
Setiembre	23.54	23.00
Octubre	23.43	22.95
Noviembre	23.13	22.79
Diciembre	22.18	21.63
Total	279.67	270.98

Por otro lado, la recolección selectiva de residuos sólidos inorgánicos para valorización se ejecuta por asociaciones de recicladores (denominadas Marbel Pachas y Reciplast) debidamente inscritos en registro municipal, logrando para el año 2021 recolectar 191755 kg, de las cuales 97657 kilogramos fueron captados por la asociación Marbel Pachas y 94089 kg por Reciplast.

Tabla 18.

Residuos sólidos inorgánicos recolectados para valorizados al año 2021.

Descripción	Asociación recolectora		Total/Mes (kg)
	Marbel Pachas (kg)	Reciplast (kg)	
Enero	8871	5321	14192
Febrero	8564	7131	15695
Marzo	6698	8898	15596
Abril	8003	8643	16646
Mayo	7759	7551	15310
Junio	7641	6864	14505
Julio	7568	7379	14947
Agosto	9063	8793	17856
Setiembre	8479	8238	16717
Octubre	9451	9698	19149
Noviembre	8199	8347	16546
Diciembre	7361	7235	14596
Total	97657	94098	191755

Así mismo, estos residuos son recolectados y valorizados según sus características físicas, en la tabla 19 se detalla la cantidad de los mismos según componente.

Tabla 19.

Residuos sólidos inorgánicos recolectados según componente al año 2021.

Mes	Componente de residuo (kg)								Total
	Plástico: PET	Plástico: PEAD, PP, PVC	Plástico: PEBD (film)	Metales: latas-hojalata, fierro	Papel Mixto	Papel blanco	Periódico	Cartón	
Enero	3120	1568	356	4123	1227	960	0	2838	14192
Febrero	3058	1562	354	5629	462	348	131	4151	15695
Marzo	3102	1578	485	6104	420	298	0	3609	15596
Abril	3266	1877	394	5729	245	541	0	4594	16646
Mayo	2328	2533	445	4438	707	180	0	4679	15310
Junio	2802	1609	418	4597	813	186	0	4080	14505
Julio	3675	2662	340	3685	578	201	0	3806	14947
Agosto	3395	2386	573	5419	2231	289	0	3563	17856
Setiembre	3698	2934	359	4523	854	714	0	3635	16717
Octubre	4600	2630	1230	4366	1906	925	0	3492	19149
Noviembre	4204	3054	454	3659	517	643	0	4015	16546
Diciembre	3498	2887	416	3260	741	242	0	3552	14596
Total	40746	27280	5824	55532	10701	5527	131	46014	191755

d. Disposición de residuos sólidos municipales.

Los residuos sólidos del distrito de San Miguel para el año 2021, fueron depositados en la Celda Transitoria de Residuos Sólidos de Huanuyo ubicado en la parcialidad de Huanuyo, distrito de Cabanillas, provincia de San Román; así mismo, las instalaciones de la celda transitoria se ubican geográficamente sobre los 3997.00 m.s.n.m., en un área de 34.00 Ha (R.G. N°115-2020-MPSR-J, 2020). A su vez, las características climáticas de la zona presentan una temperatura media máxima que se encuentra aproximadamente en 16.6 °C y 2.0 °C respecto a la temperatura media mínima anual (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI], 2013). Según el MINAM (2019) las celdas transitorias son instalaciones con características de disposición segura de los residuos sólidos, con un tiempo de vida establecido para tres años hasta contar con una instalación con características técnicas (relleno sanitario), estas instalaciones cumplen con todos los estándares ambientales internacionales para no contaminar el agua, el suelo, ni el aire.

4.1.2 Emisiones por actividades asociadas al tratamiento y disposición de RRSS.

a. *Características de emisión.*

La tabla 20, presenta las características de emisión por actividades asociadas al tratamiento y disposición de residuos sólidos, siendo el conjunto de actividades la recolección y transporte de residuos.

Tabla 20.

Características de emisión por actividades asociadas al tratamiento y disposición de residuos.

Alcance	Fuente de emisión	Tipo de GEI generado	Proceso
Alcance 1	Quema de combustible en unidades móviles (vehículos), que son propiedad o responsabilidad de la Sub Gerencia de Limpieza, Parques y Residuos Sólidos, utilizados en el proceso de recolección y transporte de residuos (combustión móvil).	CO ₂ , CH ₄ , y N ₂ O	Recolección y transporte de residuos

b. *Emisiones por proceso de recolección y transporte de residuos.*

Los resultados obtenidos del análisis de las emisiones directas del sistema de gestión de residuos generadas por fuentes de combustión móvil (empleado en la flota vehicular destinada al proceso de recolección y transporte de residuos), se detallan en la tabla 21.

Tabla 21.

Emisiones por proceso de recolección y transporte de residuos año 2021.

Descripción	Tipo de combustible	Consumo mensual	Unidad	Densidad del combustible (kg/l)	VCN (kJ/kg)	Energía total del combustible (TJ)	Emisiones CO ₂ (kg CO ₂)	Emisiones CH ₄ (kg CH ₄)	Emisiones N ₂ O (kg N ₂ O)	Emisiones de CO ₂ -eq (Ton)
Enero	Diésel B5	279	Gals	0.87	45500	0.042	3097.89	0.13	0.03	3.11
	Gasohol 90 Plus	62	Gals	0.72	47729	0.008	557.37	0.02	0.00	0.56
Febrero	Diésel B5	252	Gals	0.87	45500	0.038	2798.09	0.11	0.02	2.81
	Gasohol 90 Plus	56	Gals	0.72	47729	0.007	503.43	0.02	0.00	0.51
Marzo	Diésel B5	279	Gals	0.87	45500	0.042	3097.89	0.13	0.03	3.11
	Gasohol 90 Plus	62	Gals	0.72	47729	0.008	557.37	0.02	0.00	0.56
Abril	Diésel B5	270	Gals	0.87	45500	0.040	2997.96	0.12	0.02	3.01
	Gasohol 90 Plus	60	Gals	0.72	47729	0.008	539.39	0.02	0.00	0.54
Mayo	Diésel B5	279	Gals	0.87	45500	0.042	3097.89	0.13	0.03	3.11
	Gasohol 90 Plus	62	Gals	0.72	47729	0.008	557.37	0.02	0.00	0.56
Junio	Diésel B5	270	Gals	0.87	45500	0.040	2997.96	0.12	0.02	3.01
	Gasohol 90 Plus	60	Gals	0.72	47729	0.008	539.39	0.02	0.00	0.54
Julio	Diésel B5	279	Gals	0.87	45500	0.042	3097.89	0.13	0.03	3.11
	Gasohol 90 Plus	62	Gals	0.72	47729	0.008	557.37	0.02	0.00	0.56
Agosto	Diésel B5	279	Gals	0.87	45500	0.042	3097.89	0.13	0.03	3.11
	Gasohol 90 Plus	62	Gals	0.72	47729	0.008	557.37	0.02	0.00	0.56
Septiembre	Diésel B5	270	Gals	0.87	45500	0.040	2997.96	0.12	0.02	3.01
	Gasohol 90 Plus	60	Gals	0.72	47729	0.008	539.39	0.02	0.00	0.54
Octubre	Diésel B5	279	Gals	0.87	45500	0.042	3097.89	0.13	0.03	3.11
	Gasohol 90 Plus	62	Gals	0.72	47729	0.008	557.37	0.02	0.00	0.56
Noviembre	Diésel B5	270	Gals	0.87	45500	0.040	2997.96	0.12	0.02	3.01
	Gasohol 90 Plus	60	Gals	0.72	47729	0.008	539.39	0.02	0.00	0.54
Diciembre	Diésel B5	279	Gals	0.87	45500	0.042	3097.89	0.13	0.03	3.11
	Gasohol 90 Plus	62	Gals	0.72	47729	0.008	557.37	0.02	0.00	0.56
Total										43.18

Como se puede observar en la tabla 21, estas emisiones están representadas por el uso de combustible en la flota vehicular, la Sub Gerencia de Limpieza, Parques y Residuos Sólidos utilizó como combustibles para fuentes móviles el Diesel y Gasohol 90 Plus para el proceso de recolección y transporte de residuos, teniendo como resultados el total de las emisiones directas de GEI registradas en el año 2021, estimándose en 43.18 toneladas de CO₂-eq.

4.1.3 Emisiones por tratamiento y disposición de residuos.

Estas emisiones están distribuidas entre las producidas por el proceso de valorización de residuos orgánicos, siendo el tratamiento biológico (elaboración de compost) y las producidas por la generación de residuos sólidos por la población del distrito para disposición.

a. *Características de emisión.*

A continuación, en la tabla 22 se presentan las características principales del inventario de emisiones en el proceso de valorización y disposición de residuos.

Tabla 22.

Emisiones por proceso de valorización y disposición de residuos año 2021.

Alcance	Fuente de emisión de GEI	Tipo de GEI	Proceso
Alcance 1 - Emisiones provenientes de los residuos generados en la ciudad, pero tratados fuera de los límites.	Residuos sólidos generados en la ciudad que son tratados biológicamente	CH ₄ y N ₂ O	Valorización (tratamiento biológico de residuos sólidos)
Alcance 3 - Emisiones provenientes de los residuos generados en la ciudad, pero dispuestos fuera de los límites.	Residuos sólidos generados en la ciudad que son dispuestos en vertederos o basurales a cielo abierto.	CH ₄	Disposición de residuos sólidos

b. *Emisiones por proceso de valorización de residuos año 2021.*

Las emisiones por el proceso de valorización se dan por el tratamiento biológico de los residuos, siendo la producción de compost donde se emiten emisiones de NH₄ y N₂O, a continuación, se presenta la masa de emisiones derivada de la masa de residuos procesados por un intervalo de tiempo de meses.

Tabla 23.

Emisiones de GEI por residuos orgánicos tratados biológicamente.

MES	Residuos orgánicos tratados (Ton/mes)	Factor de emisión		Emisiones de CH ₄ (kg)	Emisiones de N ₂ O (kg)	Emisiones de CO ₂ -eq (Ton)
		(g de CH ₄ /kg. de residuos tratados)	(g de N ₂ O/kg. de residuos tratados)			
Enero	22.60	4	0.3	90.38	6.78	4.33
Febrero	24.13	4	0.3	96.51	7.24	4.62
Marzo	26.35	4	0.3	105.41	7.91	5.05
Abril	22.62	4	0.3	90.47	6.79	4.33
Mayo	20.45	4	0.3	81.81	6.14	3.92
Junio	19.09	4	0.3	76.37	5.73	3.66
Julio	22.46	4	0.3	89.85	6.74	4.30
Agosto	22.91	4	0.3	91.63	6.87	4.39
Setiembre	23.00	4	0.3	92.01	6.90	4.41
Octubre	22.95	4	0.3	91.78	6.88	4.39
Noviembre	22.79	4	0.3	91.15	6.84	4.36
Diciembre	21.63	4	0.3	86.53	6.49	4.14
Total	270.98	-	-	1083.91	81.29	51.89

Como se observa en la tabla 23 y la figura 5, las emisiones producidas al año 2021 por el tratamiento biológico de 270.98 toneladas de residuos orgánicos en el proceso de valorización, se estiman en un valor de 1083.91 kilogramos de metano (CH₄) y 81.29 kilogramos de óxido nitroso (N₂O), lo que representa en valores de dióxido de carbono equivalente (CO₂-eq) 51.89 toneladas.

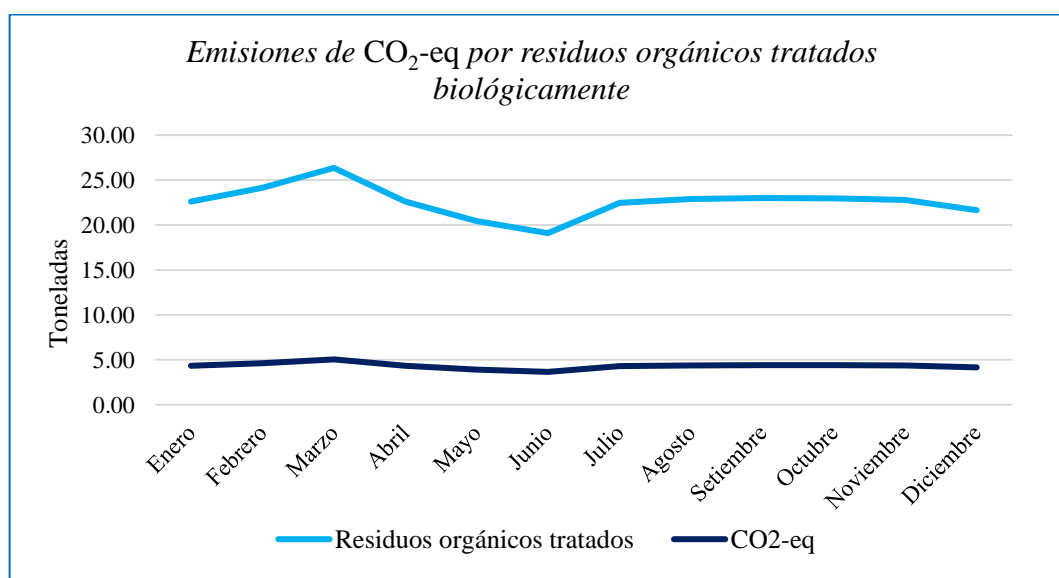


Figura 5. Emisiones de CO₂-eq por tonelada de residuos orgánicos tratados biológicamente

c. Emisiones por proceso de disposición de residuos año 2021.

Las emisiones por el proceso de disposición se dan por la cantidad de masa de residuos generados por la población para disposición en vertederos o basurales, incluida la eliminación en un sitio no regulado, la eliminación en un vertedero regulado o disposición en puntos críticos de residuos. Sin embargo, para el cálculo de emisiones se le sustrae la masa de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos que son parte de un proceso de valorización en escenario de gestión de residuos, resultando de especial interés los cálculos en ambos escenarios (escenario sin valorización y escenario con valorización de residuos reaprovechables), para determinar el grado de influencia sobre la emisión de gases de efecto invernadero de residuos sólidos. Por lo cual, se procedió a estimar en ambos escenarios el grado de emisión.

c.1 Emisiones por proceso de disposición en escenario sin valorización.

Se estima las emisiones de gases de efecto invernadero por la generación total de residuos sólidos por parte de la población del distrito de San Miguel al año 2021.

Tabla 24.

CH₄ generado por la generación de residuos sólidos municipales para disposición al año 2021.

Componente de DSM	Disposición municipal [Ton/año]	(DOC)	(DOCf)	(MCF)	(F)	Masa de DDOC depositada (Ton)	CH ₄ generado (Ton)
Pulpa de papel, cartones y otros	832.94	0.4	0.5	0.6	0.5	99.95	66.63
Textiles	0.00	0.24	0.5	0.6	0.5	-	0.00
Comida, residuos de comida y otros	7280.81	0.15	0.5	0.6	0.5	327.64	218.42
Madera y productos de madera	0.00	0.43	0.5	0.6	0.5	-	0.00
Residuos de jardines y parques	141.18	0.2	0.5	0.6	0.5	8.47	5.65
Residuos sanitarios	1042.77	0.24	0.5	0.6	0.5	75.08	50.05
Cuero	0.00	-	0.5	0.6	0.5	-	0.00
Plásticos	1015.82	-	-	-	-	-	0.00
Metal	191.23	-	-	-	-	-	0.00
vidrio	511.44	-	-	-	-	-	0.00
Otros, desechos inertes	1817.96	-	-	-	-	-	0.00
Total	12834.15						340.76

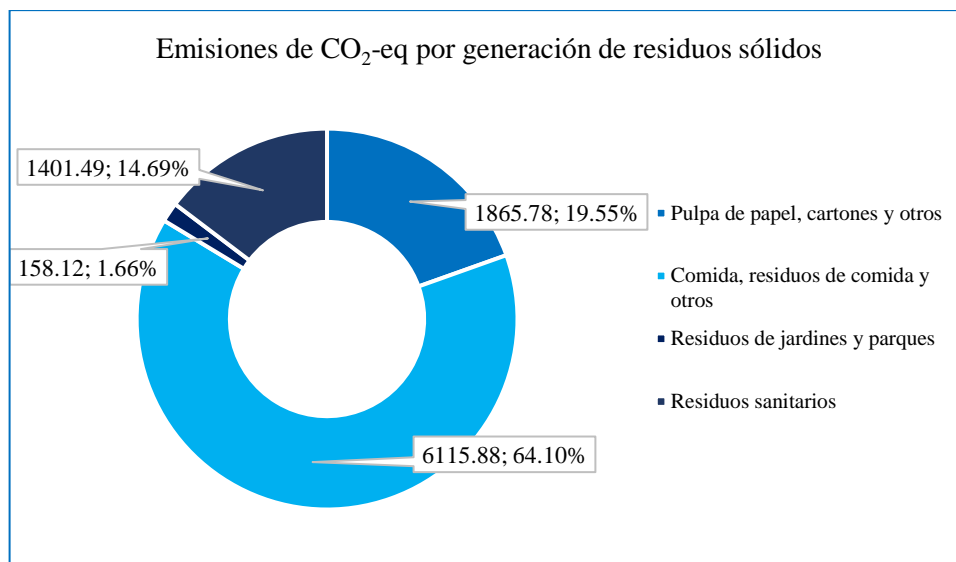


Figura 6. Participación de emisiones por generación de residuos sólidos municipales para disposición.

Se puede observar en la tabla 24 y la figura 6 que, en el componente de pulpa de papel, cartones y otros similares genera 66.63 toneladas de metano (CH₄) de 832.94 toneladas de residuos representando el 19.55%; así mismo, el componente comida, residuos de comida y otros similares genera 218.42 toneladas de metano (CH₄) de 7280.81 toneladas de residuos, representando el 64.10%, la participación mayoritaria sobre los otros componentes; a su vez, el componente residuos de jardines y parques genera 5.65 toneladas de metano (CH₄) de 141.18 toneladas de residuos, representando tan solo el 1.66%; de igual manera, el componente residuos sanitarios genera 50.05 toneladas de metano (CH₄) de 1042.77 toneladas de residuos, representando tan solo el 14.69% de emisiones al año 2021. Por otro lado, los componentes de textiles, madera y productos de madera, cuero, plásticos, metal, vidrio y otros residuos inertes no presentan generación de metano por sus características de composición y degradación.

De la misma manera, en la tabla 25 se presenta el resumen de emisiones CO₂-eq.

Tabla 25.

Emisiones de CO₂-eq por la generación de residuos sólidos municipales para disposición al año 2021.

CH ₄ generado (Ton)	Fracción oxidación (1 - OX)	Emisiones de CH ₄ (Ton)	Emisiones CO ₂ -eq (Ton)
340.76	1	340.76	9541.27

En tal sentido, según la tabla 25, se estima que el total de emisiones de metano (CH₄) por generación de residuos sólidos municipales al año 2021 fue de 340.76 toneladas; por lo cual, el total de emisiones representadas en dióxido de carbono equivalente (CO₂-eq) se aproximan a 9541.27 toneladas; así mismo, la figura 7 evidencia el comportamiento de los residuos generados para disposición y su relación con la emisión de CO₂-eq.

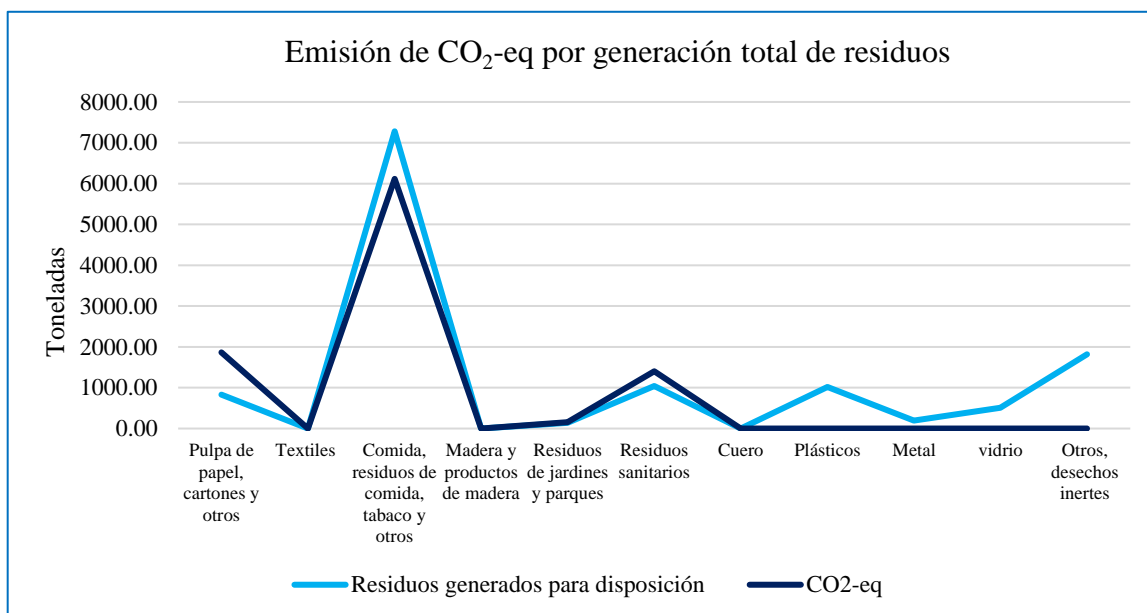


Figura 7. Emisión de CO₂-eq por tipo de residuos sólidos.

c.2 *Emisiones por proceso de disposición en escenario con valorización.*

Se estima las emisiones de gases de efecto invernadero por la generación total de residuos sólidos por parte de la población del distrito de San Miguel al año 2021, considerando el proceso de valorización de los residuos reaprovechables, donde una determinada cantidad de residuos no serán dispuestos o desechados, puesto que, estos residuos orgánicos serán procesados para la producción de compost y los residuos inorgánicos comercializados para utilizarlos como materia prima en otros procesos que no son competencia de la gestión de residuos sólidos del distrito de San Miguel.

Tabla 26.

CH₄ generado en escenario de gestión de residuos sólidos municipales al año 2021.

Componente de DSM	Disposición municipal [Ton/año]					Masa de DDOC depositada (Ton)	CH ₄ generado (Ton)
		(DOC)	(DOC _f)	(MCF)	(F)		
Pulpa de papel, cartones y otros	759.10	0.4	0.5	0.6	0.5	91.09	60.73
Textiles	0.00	0.24	0.5	0.6	0.5	-	0.00
Comida, residuos de comida, tabaco y otros	7009.83	0.15	0.5	0.6	0.5	315.44	210.30
Madera y productos de madera	0.00	0.43	0.5	0.6	0.5	-	0.00
Residuos de jardines y parques	141.18	0.2	0.5	0.6	0.5	8.47	5.65
Residuos sanitarios	1042.77	0.24	0.5	0.6	0.5	75.08	50.05
Cuero	0.00	-	0.5	0.6	0.5	-	0.00
Plásticos	959.37	-	-	-	-	-	0.00
Metal	129.76	-	-	-	-	-	0.00
vidrio	511.44	-	-	-	-	-	0.00
Otros, desechos inertes	1817.96	-	-	-	-	-	0.00
Total	12371.41						326.72

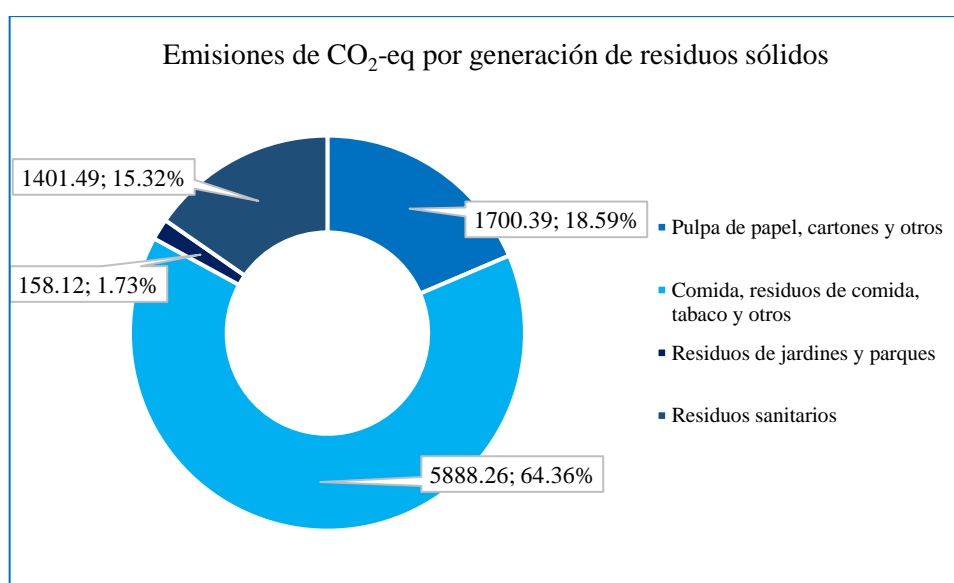


Figura 8. Participación de emisiones por generación de residuos sólidos municipales para disposición con escenario de valorización.

En la tabla 26 y la figura 8 se observa que, con el escenario de valorización de residuos reaprovechables establecido en el distrito de San Miguel, el componente de pulpa de papel, cartones y otros similares generó 60.73 toneladas de metano (CH₄) de 759.10 toneladas de residuos representando el 18.59%; a su vez, el componente comida, residuos

de comida y otros similares generó 210.30 toneladas de metano (CH₄) de 7009.83 toneladas de residuos, representando el 64.36%, la participación mayoritaria sobre los otros componentes; así mismo, el componente residuos de jardines y parques generó 5.65 toneladas de metano (CH₄) de 141.18 toneladas de residuos, representando tan solo el 1.73%; de igual manera, el componente residuos sanitarios generó 50.05 toneladas de metano (CH₄) de 1042.77 toneladas de residuos, representando el 15.32% de emisiones al año 2021. Sin embargo, los componentes de textiles, madera y productos de madera, cuero, plásticos, metal, vidrio y otros residuos inertes no presentan generación de metano por sus características de composición y degradación.

Así mismo, en la tabla 27 se presenta el resumen de emisiones CO₂-eq, producido el año 2021 en condiciones de valorización de residuos reaprovechables.

Tabla 27.

Emisiones de CO₂-eq en escenario de gestión de residuos sólidos municipales al año 2021.

CH₄ generado (Ton)	Fracción oxidación (1 - OX)	Emisiones de CH₄ (Ton)	Emisiones CO₂-eq (Ton)
326.72	1	326.72	9148.26

En resumen, según la tabla 27, se estima que para el año 2021 el total de emisiones de metano (CH₄) por generación de residuos sólidos municipales con escenario de valorización de residuos reaprovechables fue de 326.72 toneladas; entendiéndose que, el total de emisiones representadas en dióxido de carbono equivalente (CO₂-eq) se aproximan a 9148.26 toneladas. La figura 9 evidencia el comportamiento de los residuos generados para disposición con escenario de valorización y su relación con la emisión de CO₂-eq.

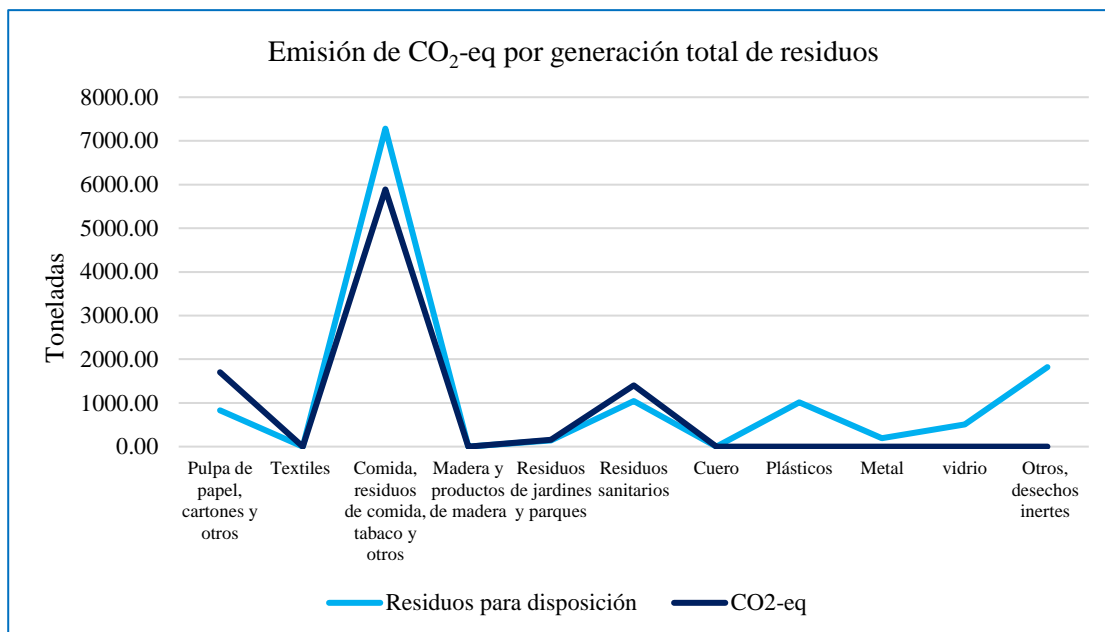


Figura 9. Emisión de CO₂-eq por tipo de residuos sólidos en escenario de valorización.

Por otro lado, mediante la cuantificación de emisiones se puede observar que el proceso de valorización de residuos permite reducir el grado de emisión, generándose en un escenario sin valorización aproximadamente 9541.27 toneladas de CO₂-eq, y por otro lado un aproximado de 9148.26 toneladas de CO₂-eq, lográndose reducir por acciones planificadas para la gestión de residuos sólidos al año 2021, un aproximado de 393.00 toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO₂-eq) producidos de los residuos sólidos para disposición.

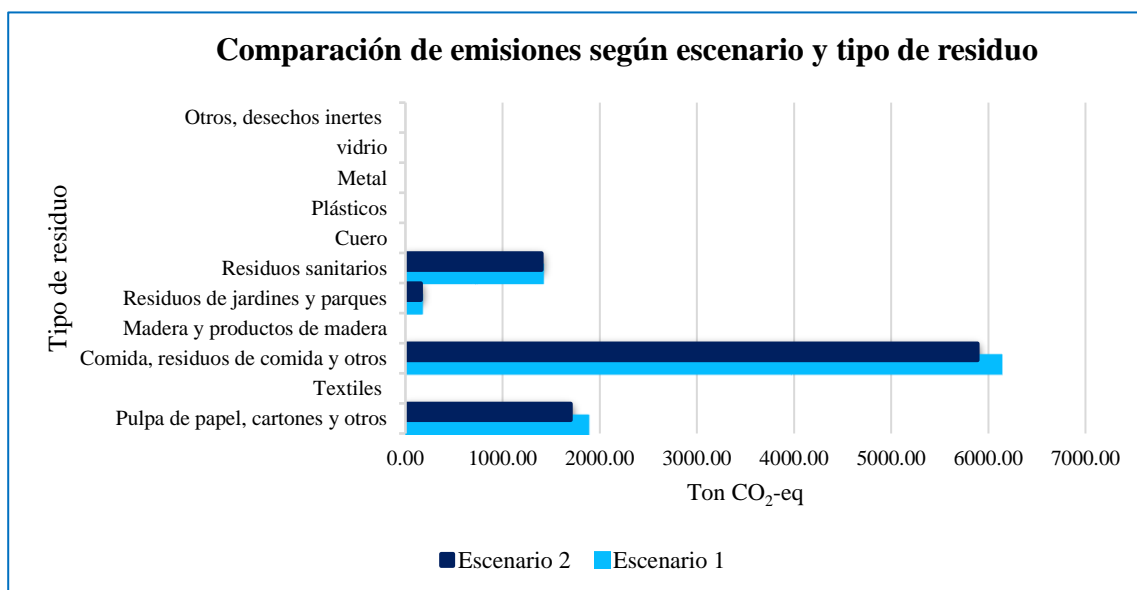


Figura 10. Comparación de emisión de CO₂-eq por tipo de escenario.

Como se observa en la figura 10, esta reducción de emisiones es consecuencia de la valorización de residuos orgánicos (componente comida, residuos de comida y otros) en 227.62 toneladas de CO₂-eq aproximadamente; y, por otro lado, la valorización de residuos inorgánicos (pulpa de pape, cartones y otros) en aproximadamente 165.38 toneladas de CO₂-eq.

4.1.4 Inventario de gases de efecto invernadero

En cumplimiento del **objetivo específico 1**, siendo de carácter descriptivo, se presenta las emisiones de gases de efecto invernadero cuantificadas de la gestión de residuos sólidos urbanos del distrito de San Miguel.

Tabla 28.

Inventario de gases de efecto invernadero del sistema de gestión de residuos - 2021.

Categorías	Emisiones de gases de efecto invernadero			
	Dióxido de carbono (CO ₂)	Metano (CH ₄)	Óxido nitroso (N ₂ O)	Dióxido de carbono equivalente (CO ₂ -eq)
	kg	kg	kg	Ton
Emisiones por proceso de Disposición	-	326723.60	-	9148.26
Emisiones por proceso de valorización	-	1083.91	81.29	51.89
Emisiones por proceso de recolección y transporte	43037.75	1.74	0.35	43.18
Total	43037.75	327809.25	81.64	9243.33

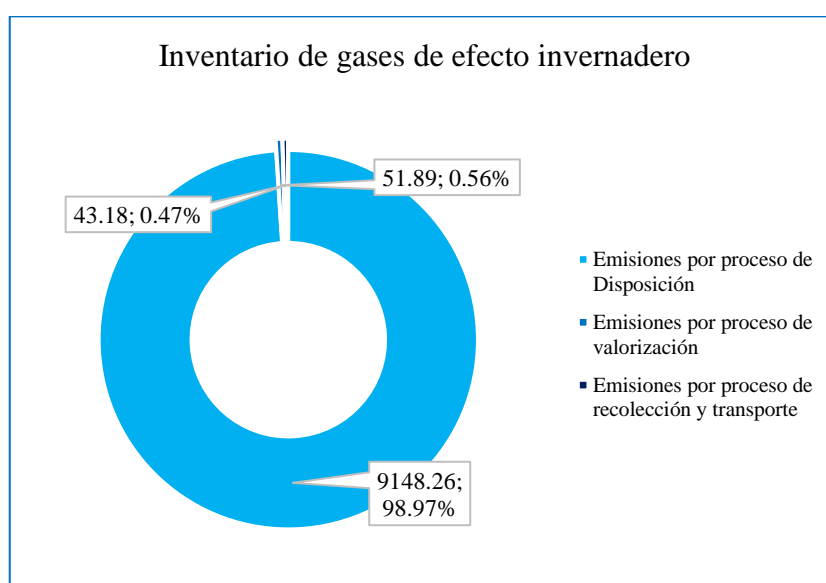


Figura 11. Participación de emisiones de CO₂-eq del inventario.

Como se puede observar en la tabla 28 y la figura 11, el total de emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO₂-eq) generados por la gestión de residuos sólidos del distrito de San Miguel se aproxima a 9243.33 toneladas, evidenciándose que el 98.97% representado por 9148.26 toneladas son generados por los residuos sólidos para disposición; por otro lado, las emisiones que el procesos de valorización generó se aproximan a 51.89 toneladas , con una participación de 0.56% y por último, el proceso de recolección y transporte generó 43.18 toneladas, con una participación de 0.47%.

En concordancia con Murillo et al. (2018), mediante un análisis de flujo de entradas y salidas de materia y energía de cada escenario de gestión de residuos, observaron que la que genera las tasas más altas de emisión de CH₄ son las acciones actuales de disposición final representando un aporte de 88,2% del total de GEI en rellenos sanitarios,

Así mismo, María et al. (2022) evidenciaron que el proceso de disposición de residuos sólidos representa cerca del 100% de las emisiones de GEI de las operaciones; este enfoque parte de la cuantificación de las emisiones de GEI directas e indirectas de sus propias operaciones, siendo la actividad principal del relleno sanitario el procesos de degradación de residuos; si bien las emisiones indirectas de GEI también resultan de otras actividades asociadas a los vertederos, el consumo de combustible de los camiones recolectores de residuos y asociado a la descarga en vertedero no se incluye en su estudio porque no depende de la empresa operadora del vertedero.

Por otro lado, las características de composición, el modo de disposición, la escala de disposición, el nivel de operación y gestión de los vertederos son significativamente diferentes en cada ciudad (Bian, 2022). Asu vez, “la falta de financiamiento e infraestructura principalmente en los municipios pequeños, es uno de los problemas que cada gobierno debe enfrentar con el fin de alcanzar una adecuada disposición de los RSU” (Díaz-Archundia et al., 2017), irónicamente, el cambio de un botadero a cielo abierto a un relleno sanitario con condiciones técnicas estrictas, conlleva a una mayor generación de CH₄; esto se debe a que los rellenos sanitarios favorecen las condiciones para la generación de gas (Solórzano, 2003).

En tal sentido, la evaluación de la huella de carbono asociada a la gestión de RSU, debe ser utilizada como una herramienta para impulsar al gobierno a mejorar el desarrollo ambiental y monitorear las actividades de las diversas instituciones que operan en este sector (María et al., 2022), siendo la estimación completa y precisa de las emisiones de GEI una condición previa para diseñar una estrategia adecuada de reducción de emisiones de GEI (Bian, 2022).

4.2 Análisis inferencial

Para los resultados e interpretación del análisis inferencial, se consideró la prueba de normalidad de *Sharpiro-Wilks*, puesto que los datos se presentan en un número menor a 50.

Tabla 29.

Prueba de Normalidad según Sharpiro-Wilks.

Variable	Estadístico	Gl.	Sig.
Emisión de gases de efecto invernadero	0.973	12	0.942
Valorización de residuos solidos	0.883	12	0.095
Valorización de residuos sólidos orgánicos	0.889	12	0.115
Valorización de residuos sólidos inorgánicos	0.936	12	0.448

Se observa en la tabla 29 que, resultando de la prueba de *Sharpiro-Wilks*, la variable emisión de gases de efecto invernadero presenta un p-valor mayor a 0.05; así mismo, la variable valorización de residuos sólidos y sus dimensiones presentan un p-valor mayor a 0.05, lo cual nos indica que los datos presentan normalidad o son paramétricos, en tal sentido para la prueba de hipótesis se toma el coeficiente de relación de Pearson.

4.2.1 Pruebas de hipótesis estadística

A continuación, se presenta el análisis inferencial en relación al objetivo general y los específicos de la investigación:

a. En relación al objetivo específico 2.

H0: La valorización residuos sólidos orgánicos no influye significativamente en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos.

Hi: La valorización residuos sólidos orgánicos influye significativamente en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos.

Teniendo como Regla de decisión:

- Rechazo H0 si $p < 0.05$
- Acepto H1 si $p < 0.05$

Prueba de hipótesis mediante el coeficiente de correlación Pearson.

Tabla 30.

Correlación de la variable dependiente y la dimensión valorización de residuos orgánicos.

Variable	Emisión de gases de efecto invernadero	
Dimensión: Valorización de residuos sólidos orgánicos	r	p
	-1.000**	0.000

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (unilateral).

Según la tabla 33, mediante la prueba de correlación de Pearson, se rechaza la H0, puesto que, el valor p calculado (0.000) es menor al p tabular (0.05), evidenciando así que la valorización de residuos sólidos orgánicos influye en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos del distrito de San Miguel. Así mismo, se establece mediante el coeficiente de correlación de Pearson que la relación es negativa o inversa perfecta, indicando que a mayor grado de valorización de residuos sólidos orgánicos se presentará un menor grado de emisiones de gases de efecto invernadero.

Tabla 31.

Resumen del modelo de la ecuación del objetivo específico 2.

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	1.000 ^a	1.000	1.000	0.017276

a. Predictores: (Constante), Valorización de residuos sólidos orgánicos.

Tabla 32.

Análisis de coeficiente de regresión del objetivo específico 2.

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Sig.
		B	Desv. Error	Beta	t	
1	(Constante)	0.570	00.066		8,582	0,000
	Valorización de residuos sólidos	-0.630	0.003	-1.000	-221,498	0,000

a. Variable dependiente: Emisión de gases de efecto invernadero.

Según el análisis de la tabla 35, la ecuación que representa la regresión de la valorización de residuos sólidos orgánicos sobre la emisión de gases de efecto invernadero es:

$$Y = 0.570 - 0.630(X_o)$$

Por lo cual, se infiere que por cada 100 toneladas de residuos sólidos orgánicos valorizados (X_o) se dejan de emitir aproximadamente 62.43 toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO_2 -eq). Por otro lado, según la tabla 34, se predice que la variable independiente influye en un 100% sobre la reducción de emisiones; evidenciando que la acción de valorización de residuos orgánicos reaprovechables puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

El vertido de residuos no segregados en vertederos que contienen una altísima cantidad de fracción orgánica se ha convertido en una fábrica de producción alta de GEI como el metano y el dióxido de carbono (Gupta et al., 2022), siendo necesaria el estudio de su naturaleza y de la reducción de su impacto. En concordancia con Aristizábal (2016), de implementarse tecnologías de recuperación de los residuos de poda, se evitaría la emisión de aproximadamente de 138 kg/día de CH_4 en la ciudad de Manizales, este proceso presentaría una implementación importante a nivel nacional, en donde los problemas relacionados a la vida útil de los rellenos sanitarios es universal; la propagación de métodos alternativas para la valorización de residuos orgánicos es de relevancia y con el fin de garantizar la sostenibilidad de estos sistemas debe incorporarse dentro de las políticas de gestión de residuos en el país.

Los residuos sólidos orgánicos son uno de los elementos que más contribuyen a la generación de emisiones de GEI al estar confinadas en condiciones anaeróbicas, por lo que, al considerar el alto contenido de materia orgánica en los residuos; el compostaje es una opción viable para el tratamiento de dichos residuos (Vázquez, 2022). Sin embargo, existen vacíos científicos en modelos de aprovechamiento de estos residuos, al mismo tiempo son ignorados los parámetros técnicos para la optimización del proceso de compostaje y/o lombricultivo, puesto que no son incluidos en el cálculo de ahorro de emisiones de CO_2 eq (Castañeda-Torres et al., 2020). Por lo que, reducir o evitar que los residuos orgánicos ingresen al cuerpo del vertedero es especialmente importante para la reducción de las emisiones de GEI, lo cual tiene sentido para la prohibición de que los RSU brutos entren directamente en el vertedero (Liao, 2022).

Por otro lado, el compost también mitiga los impactos del GEI en otros sectores, puesto que permite el crecimiento vegetal, gracias al incremento de la fijación y absorción del carbono, resaltando la importancia de las tecnologías de producción de compostaje como mecanismo de desarrollo limpio para la mitigación de los GEIs y el desarrollo sustentable para los países (Minoglou y Komilis, 2013).

b. En relación al objetivo específico 3.

H0: La valorización residuos sólidos inorgánicos no influye significativamente en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos.

Hi: La valorización residuos sólidos inorgánicos influye significativamente en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos.

Teniendo como Regla de decisión:

- Rechazo H0 si $p < 0.05$
- Acepto H1 si $p < 0.05$

Prueba de hipótesis mediante el coeficiente de correlación Pearson.

Tabla 33.

Correlación de la variable dependiente y la dimensión valorización de residuos inorgánicos.

Variable	Emisión de gases de efecto invernadero	
Dimensión: Valorización de residuos sólidos orgánicos	r	p
	-0.780**	0.003

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (unilateral).

Según la tabla 36, mediante la prueba de correlación de Pearson, se rechaza la H0, puesto que, el valor p calculado (0,003) es menor al p tabular (0.05), evidenciando así que la valorización de residuos sólidos inorgánicos influye en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos del distrito de San Miguel. Así mismo, se establece mediante el coeficiente de correlación de Pearson que la relación es negativa o inversa considerable, indicando que a mayor grado de valorización de residuos sólidos inorgánicos se presentará un menor grado de emisiones de gases de efecto invernadero.

Tabla 34.

Resumen del modelo de la ecuación del objetivo específico 3.

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0.780 ^a	0.608	0.569	0.869373

a. Predictores: (Constante), Valorización de residuos sólidos inorgánicos.

Tabla 35.

Análisis de coeficiente de regresión del objetivo específico 3.

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		
		B	Desv. Error	Beta	t	Sig.
1	(Constante)	-0,441	2,853		-1,155	0,080
	Valorización de residuos sólidos inorgánicos	-0,727	0,178	-0,780	-3,942	0,003

a. Variable dependiente: Emisión de gases de efecto invernadero.

Según el análisis de la tabla 38, la ecuación que representa la regresión de la valorización de residuos sólidos sobre la emisión de gases de efecto invernadero es:

$$Y = -0,441 - 0,727(X_i)$$

Por lo cual, se infiere que por cada 100 toneladas de residuos sólidos inorgánicos valorizados (X_i) se dejan de emitir aproximadamente -73.141 toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO_2 -eq). Por otro lado, según la tabla 37, se predice que la variable independiente influye 41.3% tiene influencia sobre la reducción de emisiones; evidenciando que la acción de valorización de residuos inorgánicos reaprovechables puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Las prácticas de reciclaje enfocadas desde la segregación en fuente pueden permitir reducir emisiones de GEI, así también, permiten que la extracción de recursos se mitigue. En concordancia con Liao et al. (2022), se evidencia que la segregación en origen ayuda a reducir las emisiones de GEI de los sistemas de tratamiento de RSU, puesto que en su unidad de estudio antes de la segregación de residuos, se emitían 319 kg de CO_2 -eq por tonelada y después de la segregación en la fuente se emitieron 203 kg de CO_2 -eq por tonelada de desechos.

Cabe mencionar que escenarios alternativos al reciclaje de material inorgánico, como la incineración generarían adicionalmente, importantes emisiones de contaminantes criterio del aire como partículas, NO_x y CO (Murillo et al., 2018). En tal sentido, la valorización de residuos inorgánicos no solo permite la reducción de GEI, puesto que según el enfoque y la importancia en las políticas públicas que se le otorgue el impacto puede ser en diferentes sectores de los sistemas socio ecológicos.

Por lo cual, se destaca la relevancia de reciclar no sólo para mitigar el uso de recursos con características no renovables, sino también para mitigar la masa de residuos dispuestos en los vertederos a consecuencia de aumentar el ciclo de vida útil, puesto que aún se seguirá considerando una alternativa económica para países en vías de desarrollo (Salmeron et al., 2017).

c. En relación al objetivo general.

H0: La valorización no influye significativamente en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos del distrito de San Miguel.

Hi: La valorización influye significativamente en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos del distrito de San Miguel.

Teniendo como Regla de decisión:

- Rechazo H0 si $p < 0.05$
- Acepto H1 si $p < 0.05$

Prueba de hipótesis mediante el coeficiente de correlación Pearson.

Tabla 36.

Correlación de variables.

Variable	Emisión de gases de efecto invernadero	
	r	p
Valorización de residuos sólidos	-0.873**	0.000

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (unilateral).

En la tabla 30, mediante la prueba de correlación de Pearson, se rechaza la H0, puesto que, el valor p calculado (0,000) es menor al p tabular (0.05), lo que representa la existencia de una relación significativa entre ambas variables, evidenciando así que la valorización influye significativamente en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos del distrito de San Miguel. Así mismo, el valor del coeficiente “r” = -0.873, estableciendo que una relación negativa considerable entre las variables; siendo indicativo de que, a mayor grado de valorización de residuos sólidos del distrito de San Miguel, se presentará un menor grado de emisión de gases de efecto invernadero.

Por otro lado, para conocer si la reducción de emisión de gases de efecto invernadero esta predicho por las acciones de valorización de residuos sólidos, se llevó a cabo una regresión lineal simple.

Tabla 37.

Resumen del modelo de la ecuación del objetivo general.

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.873 ^a	.763	.739	0.798206

a. Predictores: (Constante), Valorización de residuos sólidos.

Tabla 38.

Análisis de coeficiente de regresión del objetivo general.

Modelo		Coefficientes no estandarizados		Coefficientes estandarizados		Sig.
		B	Desv. Error	Beta	t	
1	(Constante)	-5.620	3.557		1.580	0.045
	Valorización de residuos sólidos	-0.657	0.092	-0.873	-5.668	0.000

a. Variable dependiente: Emisión de gases de efecto invernadero.

Según el análisis de la tabla 32, la ecuación que representa la regresión de la valorización de residuos sólidos sobre la emisión de gases de efecto invernadero es:

$$Y = -5.620 - 0.657(X)$$

Por lo cual, se infiere que por cada 100 toneladas de residuos sólidos valorizados (X) se dejan de emitir aproximadamente 71.32 toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO₂-eq). De igual manera, según la tabla 31, se predice que la variable independiente influye en un 76.3% sobre la reducción de emisiones; reafirmando que las acciones de valorización de residuos reaprovechables puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

En concordancia, Magazzino et al. (2020), respaldan que la generación total de desechos municipales causa emisiones de GEI; sin embargo, se observó que la recuperación de desechos (reciclado y compostaje) es un factor clave para mitigar las emisiones de GEI. De hecho, el análisis estadístico, la probabilidad de que un cambio en la variable valorización de los residuos suponga una reducción de las emisiones de GEI registró un valor del 87%; este resultado destaca cómo la iniciativa de recuperación de residuos municipales es un

factor clave en la mitigación de las emisiones de GEI del sector de residuos. Para Salmeron et al. (2017), la composición de los RSU y la determinación de las emisiones de GEI, aporta información pertinente para la toma de decisiones, aportando información que podrían ayudar a fortalecer la política en el sector de residuos con el propósito de implementar estrategias enrutadas a la divulgación del compostaje de residuos orgánicos, modelos de consumo responsables y el aumento de la tasa de recuperación de residuos que propicien la reducción de emisiones de GEI y el cambio hacia la gestión sustentable de RSU.

Por lo que, se recomienda realizar estudios periódicos y permanentes de las emisiones de GEI con el propósito de evaluar el funcionamiento del fenómeno lo largo del tiempo, tomando como referencia acciones de otras naciones, que cuentan anualmente con curvas del comportamiento de las emisiones (Solórzano, 2003). Así mismo, debido a que la relevancia en términos de emisión de CH₄ depende principalmente de la acumulación de grandes cantidades de desechos en relación con la concentración de habitantes en las urbes, también es importante estudiar la situación de la población urbana; puesto que desde allí existe una estrecha asociación entre el nivel socioeconómico de la población y la producción de residuos sólidos (Vicari, 2015).

Es cada vez más urgente la lucha contra el cambio climático, entonces, se pueden encontrar nuevas maneras de producción y consumo enfocados en contextos de la economía circular; dicho concepto está fundamentado en el principio de que en la naturaleza no existe el residuo, todo se transforma (Graziani, 2018). Siendo la transición hacia una economía circular necesaria y urgente, apostando por el aprovechamiento de los recursos y reducción de las materias primas, un nuevo modelo que propone una alternativa al antiguo “modelo lineal”, en cuanto a la extracción, producción, y consumo de los recursos (González, 2020), evitando así también la reducción de emisiones en procesos fuera del sistema de gestión de residuos sólidos.

En tal sentido, el manejo de los residuos en la gestión municipal necesita de un cambio de paradigma, lo cual implica distanciarse de la idea de un manejo de residuos enfocado únicamente en la disposición final y darles mayor prioridad a las opciones de transformación de los residuos en materia y energía; implantando esta idea en términos sociales y económicos, contribuyendo a un futuro donde la palabra “residuo” es reemplazada por el término “materia prima secundaria” (Graziani, 2018). Por lo que una adecuada separación en la fuente de residuos sólidos urbanos que evite mezclar residuos líquidos, sanitarios u orgánicos, contribuiría a una mejor recuperación de subproductos, que a su vez podría

reducir sustancialmente la alta cantidad de residuos enviada a disposición final (Hernández-Gerónimo et al., 2022), y las emisiones generadas del sector de residuos en procesos de degradación.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- En este estudio se determinó la influencia de la valorización en la reducción de las emisiones de GEI de la gestión de residuos sólidos urbanos del distrito de San Miguel; mediante el coeficiente de relación de Pearson ($r = -0.873$) y el análisis de regresión lineal simple, se evidencia la influencia de la valorización en la reducción de las emisiones de GEI. Así mismo, la relación causal es negativa considerable, indicando que, a mayor grado de valorización de residuos sólidos del distrito de San Miguel se presentará un menor grado de emisiones de GEI; estableciendo que, por cada 100 toneladas de residuos sólidos valorizados se dejan de emitir 71.32 toneladas de CO₂-eq, con una predicción de 76.3% de influencia sobre la reducción de emisiones.
- Se cuantifico las emisiones de GEI en la gestión de residuos sólidos urbanos del distrito de San Miguel; observándose que, el total de emisiones CO₂-eq generados se aproxima a 9243.33 toneladas; evidenciándose que el 98.97% representado por 9148.26 toneladas son generados por los residuos sólidos para disposición; por otro lado, las emisiones que el procesos de valorización generó se aproximan a 51.89 toneladas , con una participación de 0.56% y por último, el proceso de recolección y transporte generó 43.18 toneladas, con una participación de 0.47%.
- Se determinó la influencia de la valorización de residuos orgánicos en la reducción de las emisiones de GEI; mediante el coeficiente de relación de Pearson ($r = -1.000$) y el análisis de regresión lineal simple, evidenciando que la valorización de residuos orgánicos influye en la reducción de las emisiones, puesto que la relación causal es de tipo negativa perfecta; determinando que, por cada 100 toneladas de residuos sólidos orgánicos valorizados se dejan de emitir aproximadamente 62.43 toneladas de CO₂-eq, con una predicción de 100% de influencia sobre la reducción de emisiones.
- Se determinó la influencia de la valorización de residuos inorgánicos en la reducción de las emisiones de GEI; mediante el coeficiente de relación de Pearson ($r = -0.780$) y el análisis de regresión lineal simple, evidenciando que la valorización de residuos inorgánicos influye en la reducción de las emisiones, puesto que la relación causal de tipo negativa moderada; determinando que, por cada 100 toneladas de residuos sólidos

inorgánicos valorizados se dejan de emitir aproximadamente 73.14 toneladas de CO₂-eq, con una predicción de 41.3% de influencia sobre la reducción de emisiones.

5.2 Recomendaciones

- Los investigadores del campo de la ciencia e ingeniería ambiental vean como un punto relevante el estudio de la relación causal de la valorización de residuos sobre la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, debido que, el conocimiento pueda representar un aporte fundamental en la mitigación del cambio climático y sus consecuencias desde los escenarios locales, regionales y nacionales.
- Realizar un inventario de emisiones de gases de efecto invernadero, a partir de herramientas de cálculo confiables, de forma anual para poder asegurar el control y mejora continua de las estrategias de reducción establecidas por los gobiernos locales, regionales y nacional.
- Los investigadores estudien a profundidad las emisiones de gases de efecto invernadero producidas en el proceso de valorización de residuos sólidos orgánicos con un enfoque de ciclo de vida.
- Realizar estudios que generen información pertinente sobre la emisión de gases de efecto invernadero en escenario de la valorización de residuos inorgánicos por parte de organizaciones recicladoras, evidenciando el costo y beneficio respecto a cambio climático.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Alegre, M., & Zucchetti, A. (2021). Desarrollo urbano y gestión de residuos sólidos en ciudades intermedias.
- André, F. J., & Cerdá, E. (2006). Gestión de residuos sólidos urbanos: análisis económico y políticas públicas. *Cuadernos económicos de ICE*, (71).
- Aristizábal, B. H., Vanegas, E., Mariscal, J. P., & Camargo, M. A. (2016). Digestión anaerobia de residuos de poda como alternativa para disminuir emisiones de gases de efecto invernadero en rellenos sanitarios. *Energética*, (46), 29-36.
- Becerra, M. R., Mance, H., Barrera, X., & Arbeláez, C. G. (2009). *Cambio climático: lo que está en juego*. Foro Nacional Ambiental.
- Benítez, R., U. (2019). Efectos de la educación ambiental acerca del cambio climático en una Escuela Rural. Tesis de maestría UDCA, recuperado en: https://repository.udca.edu.co/bitstream/11158/2013/1/Uriel_Benitez_%20Proyecto%202019.pdf
- Bian, R., Zhang, T., Zhao, F., Chen, J., Liang, C., Li, W., ... & Yuan, L. (2022). Greenhouse gas emissions from waste sectors in China during 2006–2019: Implications for carbon mitigation. *Process Safety and Environmental Protection*, 161, 488-497.
- Caballero, M., Lozano, S., & Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista digital universitaria*, 8(10), 1-11.
- Castañeda-Torres, Solanyi, & Rodríguez-Miranda, Juan Pablo. (2017). Modelo de aprovechamiento sustentable de residuos sólidos orgánicos en Cundinamarca, Colombia. *Universidad y Salud*, 19(1), 116-125. <https://doi.org/10.22267/rus.171901.75>
- Díaz, C. G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y sociedad*.
- Díaz-Archundia, L. V., Buenrostro-Delgado, O., Mañón-Salas, M. D. C., & Hernández-Berriel, M. D. C. (2017). Emisión de gases de efecto invernadero en dos sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos en México. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 18(2), 149-159.

- Dwyer, R., Lamond, D., Wittneben, B. B., & Kiyar, D. (2009). Climate change basics for managers. *Management Decision*.
- Espíndola, C., & Valderrama, J. (2018). *Huella de Carbono: Cambio Climático, Gestión Sustentable y Eficiencia Energética*. Editorial Universidad de La Serena
- Euformación, C. (2015). *Gestión Integral de Residuos* (E. de la U, Ed.). Bogota, Colombia.
- Fernández Reyes, R. (2015). La comunicación de la huella de carbono como herramienta ante el cambio climático. *Razón y Palabra*, (89).
- Fernández, J. L. U. (2013). El cambio climático: sus causas y efectos medioambientales. *Anales de la real academia de medicina y cirugía de Valladolid*, (50), 71-98.
- Galindo, L. M., Samaniego, J., Alatorre, J. E., Ferrer, J., Reyes, O., & Sánchez, L. (2015). Ocho tesis sobre el cambio climático y el desarrollo sostenible en América Latina.
- González Rodrigo, N. (2020). *Recuperación de residuos y economía circular. Un estudio de casos* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Graziani, P. (2018). Economía circular e innovación tecnológica en residuos sólidos: Oportunidades en América Latina. Caracas: CAF. Retrieved from <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1247>
- Groc, I. (2021). Sintiendo El Calor: El Destino De La Naturaleza Más Allá De Los 1,5 °C De Calentamiento Global. *WWF Reino Unido*, 1-44. www.cleancanvasstudio.co.uk
- Grupo APCER. (2016). ISO 9001: Guía Del Usuario. *En Nano Drop One*.
- Guido Aldana, P. (2017). Cambio climático: selección, clasificación y diseño de medidas de adaptación.
- Gupta, J., Ghosh, P., Kumari, M., & Thakur, I. S. (2022). Solid waste landfill sites for the mitigation of greenhouse gases. In *Biomass, Biofuels, Biochemicals* (pp. 315-340). Elsevier.
- Hernández Sampieri, R., Baptista Lucio, P., & Fernández Collado, C. (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta, Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill Education, Año de edición: 2018, ISBN: 978-1-4562-6096-5, 714

- Hernández-Berriel, M. del C., Aguilar-Virgen, Q., Taboada-González, P., Lima-Morra, R., Eljaiek-Urzola, M., Márquez-Benavides, L., & Buenrostro-Delgado, O. (2017). GENERACIÓN Y COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 32, 11–22. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.05.02>
- Hernández-Gerónimo, G., Laines-Canepa, J. R., Ávila-Lázaro, I., Solís-Silvan, R., & Sosa-Olivier, J. A. (2022). Cálculos estequiométricos de factores de emisión para estimar emisiones fugitivas de gases de efecto invernadero en un centro de acopio de residuos sólidos. *Rev. Int. Contam. Ambie*, 38, 165-179.
- Herzog, T., Baumert, K. A. & Pershing, J. (2015). World greenhouse gas emissions in 2010. *World Resources Institute*, 7, 2015.
- HITPASS (2019). Bernhard. BPM: Introducción a gestión orientada a procesos: business process management. *Washington*. Independently Published,
- Hurtado Merino, A. Z. (2019). Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero producidas por la biomasa de residuos orgánicos agropecuarios Chulucanas–Piura.
- Ihobe, S. A. (2012). Guía Metodológica para la aplicación de la norma UNE-ISO 14064-1: 2006 para el desarrollo de inventarios de Gases de Efecto Invernadero en organizaciones. *Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca, Bilbao*.
- IPCC- Intergovernmental Panel On Climate Change. (2006). *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Capítulo 3-Eliminación de desechos sólidos*.
- IPCC- Intergovernmental Panel On Climate Change. (2006). *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Capítulo 5-Desechos*.
- IPCC Intergovernmental Panel On Climate Change. (2006). *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Capítulo 2- Datos de generación, composición y gestión de desechos*.
- IPCC, (2013). *Cambio climático 2013: bases físicas. Contribución del Grupo de Trabajo de Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

- IPCC, Intergovernmental Panel Climate Change (2013) *Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
- IPCC, Intergovernmental Panel Climate Change. (2006). *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Capítulo 6*.
- Lemus Muñoz, L. X. (2018). Evaluación de la huella de carbono para el aprovechamiento de residuos orgánicos. Universidad de La Salle. Bogotá. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/801
- Liao, N., Bolyard, S. C., Lü, F., Yang, N., Zhang, H., Shao, L., & He, P. (2022). Can waste management system be a Greenhouse Gas sink? Perspective from Shanghai, China. *Resources, Conservation and Recycling*, 180, 106170.
- Loyarte-López, E., Barral, M., & Morla, JC (2020). Metodología para el cálculo de la huella de carbono hacia la innovación sostenible en activos intangibles. *Sostenibilidad*, 12 (4), 1629.
- Magazzino, C., Mele, M. y Schneider, N. (2020). La relación entre los desechos sólidos municipales y las emisiones de gases de efecto invernadero: Evidencia de Suiza. *Gestión de residuos*, 113, 508-520.
- Maria, C., Góis, J., & Leitão, A. (2022). Challenges and perspectives of greenhouse gases emissions from municipal solid waste management in Angola. *Energy Reports*, 6, 364-369.
- MINAM. (2016). *El Peru y el Cambio Climático: Tercera Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- MINAM. (2020). *Guía para la gestión operativa del servicio de limpieza pública*. Ministerio del Ambiente. Perú.
- Minoglou, M., & Komilis, D. (2013). Optimizing the treatment and disposal of municipal solid wastes using mathematical programming—A case study in a Greek region. *Resources, Conservation and Recycling*, 80, 46-57.

- Municipalidad Distrital de San Miguel (2019). Estudio de caracterización de residuos sólidos municipales del distrito de San Miguel – San Román – Puno. (pp. 61).
- Murillo, J. H., Marín, J. F. R., & Leitón, D. A. (2018). Emisiones de gases efecto invernadero y contaminantes criterios derivados de diferentes medidas de mitigación en la gestión de residuos sólidos urbanos del cantón de San José, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 52(1), 94-109.
- National Solid Waste Management Commission. (2012). National solid waste management strategy 2012 - 2016. 73-85. United States. Recuperado de <http://nswmc.emb.gov.ph/wp-content/uploads/2016/07/NSWM-Strategy-2012-2016.pdf>
- Ñaupas Paitan, H., Valdivia Dueñas, M.R., Palacios Vilela, J.J., y Romero Delgado H. (2018). Metodología de La Investigación Cuantitativa-Cualitativa y Redacción de La Tesis. Vol. 53
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA. (2014). *La Fiscalización Ambiental en Residuos Sólidos*. Lima, Perú.
- Palacios, B. R. A. N. (2012). Huella de Carbono: más allá de un instrumento de medición. Necesidad de conocer su impacto verdadero. In *Actas-IV Congreso Internacional Latina de Comunicación Social-IV CILCS-Universidad de La Laguna, diciembre 2012*.
- Posligua Solís, J. G. (2020). Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a través de una propuesta de generación y aprovechamiento del gas metano a partir de los residuos sólidos en el Cantón Mocache, Provincia de Los Ríos.
- Quiroz Benítez, Diana Esmeralda. (2013). Las ciudades y el cambio climático: el caso de la política climática de la Ciudad de México. *Estudios demográficos y urbanos*, 28(2), 343-382.
- Quispe Parhuay, M., & Guerra Huamán, S. G. (2020). Valorización de residuos sólidos urbanos para el compostaje en el distrito de San Ramón-Chanchamayo, 2020. Universidad Cesar Vallejo. Lima – Perú.
- R.G. N° 115-2020-MPSR-J. (2020). Aprobar el manual de operación y mantenimiento para disposición final de residuos sólidos en celda transitoria – Huanuyo, <http://munisanroman.gob.pe/portal/sites/default/files/Res-Ger-Municipal->

- Robinson, O. J., Tewkesbury, A., Kemp, S., & Williams, I. D. (2018). Towards a universal carbon footprint standard: A case study of carbon management at universities. *Journal of Cleaner Production*, 172, 4435-4455.
- Rodríguez Pérez, L. F. (2022). *Estudio de la producción per-cápita de los residuos sólidos generados en cantón Zamora para la implementación de puntos de recolección de residuos segregados en el periodo 2021-2022* (tesis de grado, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)).
- Rondón Toro, E., Szantó Narea, M., Pacheco, J. F., Contreras, E., & Gálvez, A. (2016). Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios.
- Salmeron Gallardo, Y. A., Cabrera Cruz, R. B. E., Sampedro Rosas, M. L., Rosas Acevedo, J. L., Rolon Aguilar, J. C., & Juárez Lopez, A. L. (2017). Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Vertederos de Residuos Sólidos Urbanos Huella de Carbono en Acapulco, México.
- Sánchez, L., & Reyes, O. (2015). Medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático en América Latina y el Caribe: Una revisión general.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología Del Perú – SENAMHI. (2013). Estudio de caracterización climática de la precipitación pluvial y temperatura del aire para las cuencas de los ríos Coata e Ilave. Puno – Perú.
- Siart, S. A. (2020). ¿Cómo contabilizar el impacto ambiental de las empresas? El caso de las emisiones de gases de efecto invernadero. *Revista de Estudios Empresariales. Segunda época*, (2), 94-111.
- Sobrino, J., Garrocho, C., & Graizbord, B. (2018). Ciudades sostenibles en México: una propuesta conceptual y operativa.
- Solórzano, G. (2003). Aportación de gases de efecto invernadero por el manejo de residuos sólidos en México: el caso del metano. *Gaceta ecológica*, (66), 7-15.
- Sotelo, S. E. C., & Benítez, S. O. (2013). Gestión sostenible de los residuos sólidos urbanos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(3), 7-8.

- Tello Espinoza, P., Campani, D., & Rosalba Sarafian, D. (2018). Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. Proper Mx.
- Umwelt Bundesamt. (2015). *The climate change mitigation potential of waste sector*. Germany.
- Valderrama, J. O., Espíndola, C., & Quezada, R. (2011). Huella de Carbono, un Concepto que no puede estar Ausente en Cursos de Ingeniería y Ciencias. *Formación universitaria*, 4(3), 3-12.
- Vázquez Ovando, C. (2022). Cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero por la disposición de residuos sólidos urbanos en el municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- Vicari, R. (2015). Emisiones de gases de efecto invernadero y mitigación en el sector residuos: la economía del cambio climático en la Argentina.
- Villanueva, B. R., Salvador, M. B., & Huelgas, R. G. (2019). Cambio climático y salud. *Revista Clínica Española*, 219(5), 260-265.
- WBCSD y WRI. (2005). Protocolo de gases de efecto invernadero. *Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte*, Rev. ed. Washington, DC, Conches-Geneva.
- WBCSD y WRI. (2014). Protocolo Global para Inventarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero a Escala Comunitaria. *Estándar de contabilidad y de reporte para las ciudades*, Rev. ed. Washington, DC, Conches-Geneva. ISBN: 978-1-56973-909-9
- Ziegler Rodríguez, K. E. (2019). Evaluación ambiental por medio del análisis de ciclo de vida del relleno sanitario del distrito de Nauta, en Loreto. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima – Perú.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Tabla 39.

Matriz de consistencia.

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p><u>Problema general</u></p> <p>¿En qué medida influye la valorización en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos del distrito de San Miguel?</p> <p><u>Preguntas específicas</u></p> <p>P.E.1 ¿En qué valores se encuentran las emisiones de gases de efecto invernadero en la gestión residuos sólidos urbanos del distrito de San Miguel?</p> <p>P.E.2 ¿En qué medida influye la valorización de residuos sólidos orgánicos en la reducción de las emisiones de gases de efecto</p>	<p><u>Objetivo general</u></p> <p>Determinar la influencia de la valorización en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos del distrito de San Miguel.</p> <p><u>Objetivos específicos</u></p> <p>O.E.1 Cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero en la gestión de residuos sólidos urbanos del distrito de San Miguel.</p> <p>O.E.2 Determinar la influencia de la valorización de residuos sólidos orgánicos en la reducción de las emisiones</p>	<p><u>Hipótesis general</u></p> <p>Ha: La valorización influye significativamente en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos del distrito de San Miguel.</p> <p>H0: La valorización no influye significativamente en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos del distrito de San Miguel.</p> <p><u>Hipótesis específicas</u></p> <p>H.E.1 Cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero en gestión residuos sólidos urbanos del</p>	<p><u>Variable</u></p> <p><u>V. Independiente:</u></p> <p>Valorización de residuos solidos</p> <p><u>V. dependiente:</u></p> <p>Emisiones de gases de efecto invernadero</p>	<p><u>Enfoque:</u> Cuantitativo</p> <p><u>Tipo de investigación:</u> No experimental</p> <p><u>Diseño de Investigación:</u> Explicativo - Transversal</p> <p><u>Ámbito de estudio:</u> El espacio geográfico donde se realizará el estudio será el distrito de San Miguel, provincia de San Román, departamento de Puno.</p> <p><u>Técnica e instrumentos:</u></p> <p><u>Técnica:</u> Documental</p> <p><u>Métodos:</u></p> <p>Metodología <i>GHG Protocol</i>.</p>

<p>invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos?</p> <p>P.E.3 ¿En qué medida influye la valorización de residuos sólidos inorgánicos en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos?</p>	<p>de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos.</p> <p>O.E.3 Determinar la influencia de la valorización de residuos sólidos inorgánicos en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos.</p>	<p>distrito de San Miguel permitirán determinar la influencia.</p> <p>H.E.2 La valorización residuos sólidos orgánicos influye significativamente en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos.</p> <p>H.E.3 La valorización residuos sólidos inorgánicos influye significativamente en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la gestión de residuos sólidos urbanos.</p>		<p>Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.</p>
---	---	--	--	---

Anexo 2. Valores condicionales para la emisión de GEI, referenciadas de las directrices del IPCC

- **Cantidad de carbono orgánico degradable por tipo de desecho (DOC).**

Tabla 40.

Valores por defecto de DOC para diferentes tipos y materiales de residuos.

Componente de DSM	Contenido de DOC en% de desechos húmedos		Contenido de DOC en% de desechos secos	
	Por defecto	Rango	Por defecto	Rango
Pulpa de papel, cartones y otros	40	36 – 45	44	40 – 50
Textiles	24	20 – 40	30	25 – 50
Comida, residuos de comida, tabaco y otros	15	8 – 20	38	20 – 50
Madera y productos de madera	43	39 – 46	50	46 – 54
Desechos de jardines y parques	20	18 – 22	49	45 – 55
Residuos sanitarios	24	18 – 32	60	44 – 80
Cuero	39	39	47	47
Plásticos	-	-	-	-
Metal	-	-	-	-
Vidrio	-	-	-	-
Otros, desechos inertes	-	-	-	-

Fuentes: Directrices del IPCC, 2006.

- **Factor de corrección del metano.**

El factor de corrección de CH₄ (MCF) da cuenta del hecho de que, a partir de una cantidad dada de desechos, los SEDS no gestionados producen menos CH₄ que los SEDS anaeróbicos gestionados (IPCC, 2006).

Tabla 41.

Valores por defecto para MCF.

Tipo de sitio	MCF
Gestionado – anaeróbico	1,00
Gestionado-semi-aeróbico	0,50
No gestionado (h > 5m)	0,80
No gestionado (h < 5m)	0,40
SEDS no categorizado	0,60

Fuentes: Directrices del IPCC, 2006.

- ***Fracción del carbono orgánico degradable que se descompone (DOCf).***

Es una estimación de la fracción de carbono que se degrada en última instancia y que se libera desde un SEDS y refleja el hecho de que una parte del carbono orgánico degradable no se degrada, o se degrada muy lentamente, bajo condiciones anaeróbicas en el SEDS (IPCC, 2006).

Tabla 42.

Valores por defecto para DOCf.

Tipo de residuo	Valor
Total	0,5

Fuentes: Directrices del IPCC, 2006.

- ***Fracción de CH₄ en el gas de vertedero generado (F).***

Según el IPCC (2006), en los SEDS:

la mayor parte de los desechos generan un gas con aproximadamente 50 por ciento de CH₄. Sólo los materiales que incluyen cantidades sustanciales de grasa o aceite pueden generar gas con mucho más del 50 por ciento de CH₄. Por lo tanto, se alienta a emplear el valor por defecto del IPCC para la fracción de CH₄ en el gas de vertedero generado (0,5).

Tabla 43

Valores por defecto para F.

Valor	Descripción
0,5	Valor por defecto
0,55	Alto contenido de grasas y aceites

Fuentes: Directrices del IPCC, 2006.

- **Factor de oxidación (OX).**

El factor de oxidación (OX) refleja la cantidad de CH₄ de los SEDS que se oxida en el suelo u otro material que cubre los desechos (IPCC, 2006).

Tabla 44.

Valores por defecto para OX.

Condiciones del sitio de disposición de residuos sólidos (SWDS)	Valor
Gestionado, pero no cubierto con material aireado. No gestionado y no categorizado	0
Gestionado y cubierto con material aireado	0,1

Fuentes: Directrices del IPCC, 2006.

- **Índice de decaimiento por el tipo de residuo.**

Tabla 45.

Valores por defecto para kj.

Tipo de residuo (j)	Boreal y templado		Tropical	
	(°t ≤ 20°C)		(°t > 20°C)	
	Condiciones húmedas (MAP/PET>1)	Condiciones secas (MAP/PET<1)	Condiciones húmedas (MAP/PET>1)	Condiciones secas (MAP/PET<1)
Pulpa de papel, cartones y otros	0,06	0,04	0,07	0,045
Textiles	0,06	0,04	0,07	0,045
Comida, residuos de comida, tabaco y otros	0,185	0,06	0,4	0,085
Madera y productos de madera	0,03	0,02	0,035	0,025
Residuos de jardines y parques	0,1	0,05	0,17	0,065
Residuos sanitarios	0,1	0,06	0,4	0,085
Plástico, metales y otros	0	0	0	0

Fuentes: Directrices del IPCC, 2006.

