

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES



“CUANTIFICACIÓN DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES, DISTRITO DE BELLAVISTA, 2021”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

AUTORES

Banny Iveth Cuba Gutierrez
Miguel Alfonso Nieves Amengual

Two handwritten signatures in black ink, one above the other, corresponding to the authors listed.

ASESOR:

Lozano Vieytes, Luis Enrique

A handwritten signature in black ink, corresponding to the advisor listed.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
CIENCIA DE LA TIERRA Y DEL MEDIO AMBIENTE

Callao, 2022

PERÚ



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES
(Resolución N° 019-2021-CU del 20 de enero de 2021)



III CICLO TALLER DE TESIS

ANEXO 3

ACTA N° 012-2022 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.

LIBRO 01 FOLIO No. 64 ACTA N°012-2022 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.

A los 20 días del mes de noviembre del año 2022, siendo las 14:00 horas, se reunieron, en la sala meet: <https://meet.google.com/wbt-okpc-qmv>, el **JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS** para la obtención del **TÍTULO Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales** de la **Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales**, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la **Universidad Nacional del Callao**:

Ms.C. María Teresa Valderrama Rojas	: Presidente
Mtra. Janet Mamani Ramos	: Secretaria
Mtro. Dan Skipper Anarcaya Torres	: Vocal
Dr. Miguel Ángel De La Cruz Cruz	: Suplente
Mg. Luis Enrique Lozano Vieytes	: Asesor

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis de los Bachilleres Banny Iveth Cuba Gutierrez y Miguel Alfonso Nieves Amengual, quienes habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales, sustentan la tesis titulada: **"CUANTIFICACIÓN DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES, DISTRITO DE BELLAVISTA, 2021"**, cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N°039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario";

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por Aprobado con la escala de calificación cualitativa Muy Bueno y calificación cuantitativa 17 la presente Tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 099-2021-CU del 30 de junio de 2021.

Se dio por cerrada la Sesión a las 20:50 horas del día domingo 20 de noviembre del año en curso.

Presidente

Secretaria

Vocal

Asesor

INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN: UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

TÍTULO: "CUANTIFICACIÓN DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES, DISTRITO DE BELLAVISTA, 2021".

AUTORES:

Apellidos y nombres: Cuba Gutierrez Banny Iveth

CODIGO ORCID: 0000-0001-6377-5389

DNI:76310639

Apellidos y nombres: Nieves Amengual Miguel Alfonso

CODIGO ORCID: 0000-0003-3612-901X

DNI: 76805748

ASESOR:

Apellidos y nombres: Lozano Vieytes, Luis Enrique

CODIGO ORCID: 0000-0002-5273-0019

DNI: 41894276

LUGAR DE EJECUCIÓN: Distrito de Bellavista

UNIDAD DE ANÁLISIS: Residuos Sólidos Municipales en el distrito de Bellavista

TIPO DE INVESTIGACIÓN: Nivel descriptivo y propósito aplicada.

ENFOQUE: Cuantitativo

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: Diseño no experimental -transeccional, retrospectivo.

TEMA SEGÚN OCDE: 1.05.08 CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE

DEDICATORIA

A nuestros padres por su constante motivación y ayuda incondicional en esta etapa de nuestras vidas. Con mucho amor para ustedes, que son nuestro ejemplo a seguir.

Banny Cuba & Miguel Nieves

AGRADECIMIENTO

A nuestras familias (hermanos, tíos y padrinos) que son un factor importante en todos nuestros objetivos que vamos alcanzando en cada etapa de nuestras vidas y ahora culminamos una etapa más en nuestras vidas con esfuerzo y disciplina.

A nuestras amistades que constantemente contamos con su apoyo.

A la Municipalidad de Bellavista en la colaboración de la tesis, a los ingenieros encargados de cada etapa del manejo de residuos sólidos municipales y que gracias a su apoyo se pudo realizar la recolección de la información que es vital para la realización del Análisis de Ciclo de Vida y al personal que participa diariamente en la recolección de los residuos sólidos que día a día contribuyen con disminuir el impacto ambiental que cuesta a la humanidad poder mitigar.

Al Mg. Lozano Vieytes, Luis Enrique, quien nos impartió conocimientos en nuestra casa de estudios y ahora como nuestro asesor para optar el título de ingenieros, guardaremos en usted un gran respeto y rotundo agradecimiento por sus palabras de aliento en la realización de la tesis y su dedicación en la culminación satisfactoria de nuestra meta.

A los docentes quienes contribuyeron objetivamente en el desarrollo de la presente tesis como jurados evaluadores y en la aplicación de la herramienta ACV.

A la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao donde creció nuestros conocimientos y la base de ellos fueron nuestros docentes que nos ayudaron a forjar la toma de decisiones. Y la vocación ambiental seguirá perenne en nuestros corazones.

Banny Iveth Cuba Gutierrez & Miguel Alfonso Nieves Amengual

ÍNDICE

DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
RESUMEN.....	12
ABSTRACT.....	13
INTRODUCCIÓN	14
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	15
1.2. Formulación del problema.....	18
1.3. Objetivos.....	18
1.4. Justificación	19
1.5. Delimitantes de la investigación	21
II. MARCO TEÓRICO.....	23
2.1. Antecedentes.....	23
2.2. Bases teóricas	32
2.3. Marco conceptual.....	35
2.4. Definición de términos básicos.....	54
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	57
3.1. Hipótesis.....	57
3.1.1. Operacionalización de variable	57
IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO.....	59
4.1. Diseño metodológico	59
4.2. Método de investigación	60
4.3. Población y muestra	68
4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado	68
4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.....	69
4.6. Análisis y procesamiento de datos	70
4.7. Aspectos Éticos en Investigación.....	77
V. RESULTADOS.....	78
5.1. Resultados descriptivos	78
5.2. Resultados inferenciales	104
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	121

6.1.	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	121
6.2.	Contrastación de los resultados con otros estudios similares.....	130
6.3.	Responsabilidad ética	131
VII.	CONCLUSIONES	132
VIII.	RECOMENDACIONES	134
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	135
X.	ANEXOS.....	143
	ANEXO I.....	144
	ANEXO II.....	145
	ANEXO III.....	146
	ANEXO IV	147
	ANEXO V	148
	ANEXO VI	157
	ANEXO VII	158
	ANEXO VIII	159

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Instalaciones de Disposición Final	38
Tabla 2. Elementos obligatorios y opcionales del EICV	43
Tabla 3. Categorías de Impacto según metodología ReCiPe, Midpoint	48
Tabla 4. Definición conceptual y operacional de la variable.....	58
Tabla 5. Procesamiento de datos descriptivos e inferenciales.....	71
Tabla 6. Estadísticos descriptivos de cantidad de Residuos Sólidos Municipales dispuestos por camión	80
Tabla 7. Flujo de referencia para la etapa de recolección y transporte de RSM	82
Tabla 8. Resultados de los elementos de categoría de impacto en la etapa de recolección y transporte.....	83
Tabla 9. Resultados de impacto ambiental en la etapa de recolección y transporte de RSM.....	86
Tabla 10. Flujo de referencia para la etapa de valorización de RSM	89
Tabla 11. Resultados de los elementos de categoría de impacto en la etapa de valorización.....	90
Tabla 12. Resultados de impacto ambiental en la etapa de valorización de RSM	93
Tabla 13. Flujo de referencia para la etapa de disposición final de RSM	95
Tabla 14. Resultados de los elementos de categoría de impacto en la etapa de disposición final	97
Tabla 15. Resultados del ACV en la disposición final del manejo del RSM	99
Tabla 16. Resultados de impacto ambiental en el Manejo de Residuos Sólidos Municipales.....	102
Tabla 17. Cuadro resumen de estadísticos para la etapa de recolección y transporte	118
Tabla 18. Cuadro resumen de estadísticos para la etapa de Valorización	119
Tabla 19. Cuadro resumen de estadísticos para la etapa de disposición final	120

Tabla 20. Contrastación de prueba de hipótesis en la etapa de recolección y transporte	123
Tabla 21. Contrastación de prueba de hipótesis en la etapa de valorización.	126
Tabla 22. Contrastación de prueba de hipótesis en la etapa de disposición final	129
Tabla 23. Matriz de consistencia	144

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama del Sistema de Economía Circular por (Ellen MacArthur Foundation 2019).....	33
Figura 2. Metodología representada en las cuatro fases de Análisis del Ciclo de Vida. Adaptado de la NTP ISO14044:2019.	39
Figura 3. Inventario de Ciclo de Vida. Tomada de NTP ISO14044:2019 por INACAL 2019.....	42
Figura 4. Concepto de indicadores de categoría. Tomada de (INACAL 2019).	44
Figura 5. Categorías de impacto en base al método de ReCiPe 2016. Tomado de (Huijbregts et al. 2016) y adaptado al caso de estudio.	45
Figura 6. Marco de referencia del Análisis del Ciclo de Vida – Interpretación de resultados, por (INACAL 2019)	49
Figura 7. Diagrama de flujo para el alcance del ACV.	63
Figura 8. Metodología del ACV aplicada en el EICV.	66
Figura 9. Estructura del ACV en el MRSM.	67
Figura 10. Mapa distrital de Bellavista. Tomada de “Plan Local de Seguridad Ciudadana Convivencia Social”, por (Distrito Bellavista, 2018).	69
Figura 11. Creación de flujo de productos. Tomada de la Interfaz del software OpenLCA.....	75
Figura 12. Flujos de referencia de procesos de tratamiento de compostaje a partir de residuos de poda de césped. Tomada de la Interfaz del software OpenLCA.....	75

Figura 13. Reporte del cálculo de impacto ambiental a través de la metodología ReCiPe 2016 Midpoint (H) Tomada de la Interfaz del software OpenLCA.	76
Figura 14. Procesamiento de cálculo de la prueba de Monte Carlos con 300 iteraciones. Tomada de la Interfaz del software OpenLCA.	77
Figura 15. Diagrama del ACV según etapas de manejo de RSM mediante uso del software OpenLCA.	101
Figura 16. Ficha de recolección de datos: Identificación de procesos unitarios	145
Figura 17. Ficha de recolección de datos: Inventario de materiales y equipos.	146
Figura 18. Ficha de recolección de datos: Recopilación de datos de gestión operacional.	147
Figura 19. Validación de instrumento de recolección de datos.	148
Figura 20. Mapa de las zonas para la recolección, transporte y valorización de residuos sólidos. Tomado de la Municipalidad de Bellavista.	157
Figura 21. Ficha llenada en campo para el inventario del ACV	158
Figura 22. Fotografía de la etapa de recolección y transporte de residuos sólidos municipales.	159
Figura 23. Fotografía de la etapa de valorización residuos sólidos municipales orgánicos.	159
Figura 24. Fotografía de la etapa de valorización residuos sólidos municipales inorgánicos.	160
Figura 25. Fotografía de la etapa disposición final de los residuos sólidos, camión grúa camino al relleno sanitario Modelo del Callao.	160

ABREVIATURAS

- ACV: Análisis de ciclo de vida
- ALC: América Latina y el Caribe
- CEPAL: Comisión Económica para América Latina y el Caribe
- GPC: Generación Per Cápita
- EICV: Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida
- GEI: Gases de Efecto Invernadero
- ICV: Inventario de Ciclo de Vida
- INEI: Instituto Nacional de Estadística e Informática
- MINAM: Ministerio del Ambiente
- MRSM: Manejo de los Residuos Sólidos Municipales
- OCDE: Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos
- ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible
- OEFA: Organización de Evaluación y Fiscalización Ambiental
- R.S.: Relleno Sanitario
- RR.SS.: Residuos Sólidos
- RSM: Residuos Sólidos Municipales
- SEIA: Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
- SIGERSOL: Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos
- UF: Unidad Funcional
- TM: Toneladas Métricas

RESUMEN

El Manejo de los Residuos Sólidos Municipales se encuentra bajo las jurisdicciones de las municipalidades distritales, las cuales deben establecer medidas viables que permitan llegar a la sostenibilidad en sus acciones. Es por ello, que el Análisis de Ciclo de Vida sirve como herramienta ambiental para establecer indicadores ambientales en función de las diferentes categorías de Impacto Ambiental con el objetivo de cuantificar el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de Residuos Sólidos Municipales desarrollándose en el distrito de Bellavista durante el año 2021, aplicándose la metodología de ACV con base en la NTP-ISO14044:2019; en donde se tiene como alcance el manejo operativo de los residuos en las etapas de Recolección y transporte, Valorización y Disposición final; con una unidad funcional de 34631.18 TM de residuos sólidos municipales generados del procesamiento de datos analizados a lo largo del año 2021. Es por ello, que se incorporó la base de datos de Ecoinvent 3.8, PeruLCA y modelaciones propias que se adecúa a la realidad nacional para obtener una mejor calidad de datos; permitiendo así cuantificar el impacto ambiental mediante el software OpenLCA con ayuda del método ReCiPe 2016. Finalmente, se concluye que el ACV del Manejo de los Residuos Sólidos tiene un impacto relevante en las categorías como Ecotoxicidad terrestre con 4.67 E+06 kg 1,4-DCB eq seguido del Calentamiento global con 1.46 E+07 kg CO_2 eq y Toxicidad cancerígena humana 1.06 E+03 kg 1,4-DCB eq fueron los valores más dañinos. Sin embargo, la etapa de valorización contribuye a evitar los impactos ambientales en Ecotoxicidad terrestre con -1.46 E+06 kg 1,4-DCB eq, Calentamiento global con -1.98 E+05 kg CO_2 eq y Toxicidad Cancerígena Humana con -2.09 E+04 kg 1,4-DCB eq que únicamente llevados en cantidades de residuos valorizados solo representa un 0.9 % del total de residuos sólidos municipales generados.

Palabras clave: Análisis de Ciclo de Vida, Residuos Sólidos Municipales, recolección y transporte, valorización y disposición final.

ABSTRACT

The Management of Municipal Solid Waste is under the jurisdiction of the district municipalities, which must establish viable measures that allow achieving sustainability in their actions. That is why the Life Cycle Analysis serves as an environmental tool to establish environmental indicators based on the different categories of Environmental Impact with the objective of quantifying the Life Cycle Analysis of Municipal Solid Waste Management being developed in the district of Bellavista during the year 2021, applying the LCA methodology based on NTP-ISO14044:2019; where the scope is the operational management of waste in the stages of Collection and transportation, Recovery and Final Disposal; with a functional unit of 34631.18 MT of municipal solid waste generated from the processing of data analyzed throughout the year 2021. For this reason, the Ecoinvent 3.8, PeruLCA database and own modeling that is adapted to the national reality to obtain better data quality; thus, allowing to quantify the environmental impact through the OpenLCA software with the help of the ReCiPe 2016 method. Finally, it is concluded that the LCA of Solid Waste Management has a relevant impact on categories such as Terrestrial Ecotoxicity with 4.67 E+06 kg 1,4-DCB eq followed by Global Warming with 1.46E+07 kg CO₂ eq y and Human Carcinogenic Toxicity 1.06 E+03 kg 1,4-DCB eq were the most damaging values. However, the recovery stage contributes to avoiding environmental impacts in Terrestrial Ecotoxicity with -1.46 E+06 kg 1,4-DCB eq, Global Warming with -1.98 E+05 kg CO₂ eq and Human Carcinogenic Toxicity with -2.09 E +04 kg 1,4-DCB eq that only carried in amounts of recovered waste only represents 0.9% of the total municipal solid waste generated.

Keywords: Life Cycle Analysis, Municipal Solid Waste, collection and transportation, recovery and final disposal.

INTRODUCCIÓN

Todas las actividades que realizan los individuos generan algún tipo de residuo (Carvajal Romero, García Álvarez y Tejeiro Álvarez 2021), en este sentido, la generación de los Residuos Sólidos Municipales a nivel mundial alcanzó 2.01 billones de toneladas de residuos sólidos anuales, impactando directamente al ambiente tanto al suelo, agua y aire (Bhada-Tata y Hoornweg 2016; Cristóbal et al. 2022). Debido a la problemática, el Perú debe establecer estrategias sostenibles y eficientes que permitan cumplir con la reducción de un 30% de emisiones de Gases de Efecto Invernadero, que fueron establecidos en el acuerdo de París y que permitan monitorear la adopción de estas metodologías (Vázquez-Rowe et al. 2019) acorde a la realidad y costo de inversión (Das et al. 2019).

Por ello, se utilizó el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), para cuantificar impactos ambientales, permitiendo a los tomadores de decisiones establecer un análisis óptimo y objetivo (Laurent, Clavreul, et al. 2014 & Turner, Williams y Kemp 2016); del cual se determinó los diferentes impactos ambientales del Manejo de los Residuos Sólidos con base a la NTP-ISO 14044:2019 según el método ReCiPe 2016 mediante el uso del software OpenLCA, con la base de datos de Ecoinvent 3.8, PerúLCA y modelos de escenarios de residuos que fueron acondicionados según las características del manejo del distrito de Bellavista para su evaluación e interpretación de los resultados; además, de las condiciones climatológicas (Ziegler-Rodríguez et al. 2019; Kahhat et al. 2019) y de la composición de estos (Laurent, Bakas, et al. 2014).

Finalmente, el impacto perjudicial fue la etapa de recolección y transporte seguido de la disposición final y en beneficio la etapa de valorización. Siendo la Ecotoxicidad terrestre con $4.67E+06$ kg 1,4-DCB eq, Calentamiento global con $1.46 E+07$ kg CO_2 eq y Toxicidad cancerígena humana $1.06 E+03$ kg 1,4-DCB eq los que contribuyeron a impactos perjudiciales en el manejo de los residuos sólidos, no obstante, la etapa de valorización contribuye en Calentamiento global $-1.98 E+05$ kg CO_2 eq que únicamente representa el 1.38% respecto a la Disposición Final.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

La generación de Residuos Sólidos Municipales en el mundo tiene como inicio en la dependencia de los hábitos, cambio de patrones de consumo por el nivel socioeconómico (Graziani 2018; Khandelwal et al. 2018). Además, podría llegar a 9.600 millones de personas al 2050 y una generación de 2.01 billones de toneladas anuales de residuos (CEPAL 2019; EPA 2020) de los cuales el 33% fueron dispuestos en botaderos a cielo abierto y aproximadamente el 40% del resto fue llevado a un relleno sanitario (Kaza et al. 2018). Por lo tanto, un incremento a gran escala de los residuos sólidos conllevaría a contaminar todos los cuerpos de agua en especial los océanos del mundo y degradando los suelos, y en la mayoría de los países con bajos recursos se eliminan sus residuos abiertamente y no usan procesos formales provocando en la sociedad enfermedades por reproducción de vectores y enfermedades respiratorias por la quema de residuos, dañando a la flora y fauna (Kaza et al. 2018; Kaza y Bhada-Tata 2018).

A pesar de que un 86% de los países a nivel mundial tienen lineamientos que se rigen al manejo de desechos sólidos con respecto a su nivel de ingresos, los países en todo el mundo están buscando una variedad de metodologías operativas u administrativas para una gestión sostenible de los residuos (Kaza y Bhada-Tata 2018). Los tratamientos de los residuos y disposición es realizado según el poder económico entre los más usados son el compostaje, reciclado, relleno sanitario, digestión aerobia e incineración (Kaza et al. 2018) pero cada una genera diferentes impactos ambientales y costos de infraestructura que son tomadas en consideración para su aplicación (Kaza y Bhada-Tata 2018).

En América Latina y el Caribe (Bhada-Tata y Hoornweg 2016), se evidencia el incremento de residuos municipales que corresponde cerca del 12% de la generación global (Graziani 2018) con una Generación Per Cápita de 0.99 Kg/hab/día representando un total de 231 millones de toneladas de residuos sólidos. (Kaza et al. 2018); teniendo en cuenta ello, el manejo inadecuado de los

residuos sólidos en estos países causa grandes impactos negativos en las personas y el ambiente (Tello Espinoza et al. 2010) . En Sudamérica, se demuestra que es uno de los continentes más afectado por el cambio climático debido a que cuentan con una gran variedad de biodiversidad (Vale y Pires 2017).

Por lo tanto, algunos países de América del sur, las tecnologías que se usan son aún incipientes. Y si hablamos de valorización, el reciclaje no se realiza a gran escala y muchas veces son realizadas informalmente estimándose solo un 2.2% del RSM en el ALC. Además, en el compostaje falta implementar guías para la obtención de un producto de calidad, ya que la sociedad genera más del 50% de residuos orgánicos. Pero, la disposición final para relleno sanitario es la alternativa ambiental más usada, pero tiene sus limitaciones con respecto a su tiempo de vida y a su eficiencia. Con respecto a recolección y transporte se deben mejorar las experiencias de aplicación de rutas más optimas (Tello Espinoza et al. 2010).

Por otro lado, el Perú se ve afectado por la contaminación de los residuos sólidos y no desarrolla un adecuado manejo de Residuos Sólidos Municipales que más adelante se usará el término (RSM), teniendo una generación aproximada total de 7'905 118 toneladas de residuos sólidos municipales al año (MINAM 2022). Además, hay una necesidad de alternativas ambientales eficientes, la medida ambiental más utilizada son los rellenos sanitarios hasta la actualidad. En tal sentido, el país tiene metas ambientales que debe cumplir por acuerdos internacionales en los que participa, una de ellas es la agenda 2030, donde se desarrolla diecisiete Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). (CEPAL 2019).

Debido a esta exigencia de la problemática de estudio, es necesario poder redireccionar las acciones ambientales (de Miguel et al. 2021) implementando un cambio de una economía lineal a una economía circular(Ellen MacArthur Foundation 2019), como también lo menciona la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos N°1278. Por ello, se detectó que el manejo de los RSM hacia el año de estudio no cuenta con estrategias claras y definidas, por este sentido

la investigación integrará y aplicará la metodología del Análisis de Ciclo de Vida que más adelante usará el término (ACV) que es una de las metodologías más destacables con un propósito trascendente en generar estrategias ambientales que cumplan con las exigencias de un desarrollo sostenible.

Cabe destacar, que el ACV es una prometedora herramienta utilizada a nivel internacional como una estrategia ambiental (Bernstad Saraiva, Souza y Valle 2017), para cuantificar el impacto ambiental en la gestión y manejo de los residuos sólidos municipales (Iqbal, Liu y Chen 2020; Khandelwal et al. 2018), y así poder ser analizadas en diversos escenarios propuestos como recolección y transporte, valorización y disposición final u otros. Asimismo, es una herramienta que se emplea antes de tomar cualquier decisión sobre los residuos sólidos municipales que se seleccionarán (Turner, Williams y Kemp 2016), las políticas que se desarrollarán en una nación (Kulczycka et al. 2015). Sin embargo, la etapa vital son los datos confiables para obtener resultados determinantes (Sözer y Sözen 2020).

Ahora bien, el distrito de Bellavista tiene una Generación Per Cápita (GPC) de 0.97 kg/hab/día (Municipalidad Distrital de Bellavista 2019) y tiene un total de siete puntos críticos de acumulación temporal de RSM generados en las vías, los cuales fueron identificadas por la OEFA (Defensoría del Pueblo 2019; INEI 2018). En vista que la Provincia Constitucional del Callao cuenta con el relleno sanitario Modelo del Callao, el cual atiende a 22 Distritos entre ellos el distrito de Bellavista (Defensoría del Pueblo, 2019) para la disposición final de los residuos sólidos municipales, es la alternativa ambiental más usada con un 98.93% de los RSM pero siendo insostenible a largo plazo por el incremento de la población y solo se valorizó el 1.07% equivalentes a 370.94 TM/anuales de residuos para el año 2021, estos datos fueron procesados a partir de SIGERSOL; es por ello, que en base a la realidad problemática descrita se plantea las siguientes preguntas.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- ¿Cómo será la cuantificación del Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales del distrito de Bellavista, en términos de impactos ambientales, 2021?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo será la etapa de recolección y transporte en el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales del distrito de Bellavista, en términos de impactos ambientales, 2021?
- ¿Cómo será la etapa de valorización en el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales del distrito de Bellavista, en términos de impactos ambientales, 2021?
- ¿Cómo será la etapa de disposición final en el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales del distrito de Bellavista, en términos de impactos ambientales, 2021?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Cuantificar el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales del distrito de Bellavista, en términos de impactos ambientales, 2021.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar la etapa de recolección y transporte en el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales del distrito de Bellavista, en términos de impactos ambientales, 2021.

- Analizar la etapa de valorización en el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales del distrito de Bellavista, en términos de impactos ambientales, 2021.
- Analizar la etapa de disposición final en el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales del distrito de Bellavista, en términos de impactos ambientales, 2021.

1.4. Justificación

La investigación propuesta busca mediante la aplicación de la herramienta del ACV del manejo de los RSM, determinar los impactos ambientales asociados a las etapas de manejo para poder establecer un marco de referencia que permita dar sustento a los tomadores de decisiones, el establecer un manejo adecuado de los residuos con base en la sostenibilidad de sus decisiones, ya que es una de las primeras investigaciones aplicativas en abarcar el manejo de residuos sólidos municipales de un distrito del Perú en función a su realidad. Es por ello, que en este apartado se establecerán las diferentes justificaciones según su componente legal, ambiental, económico, social y de salud.

1.4.1. Justificación Legal Ambiental

Dentro del marco normativo Ley N°28611 “Ley General del Ambiente” establece la responsabilidad de los gobiernos locales la regulación del manejo de los residuos sólidos municipales, la Ley N°27446 “Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental”, solicita la cuantificación de los impactos en todo proyecto ambiental entre ellas el manejo de los residuos sólidos municipales, que es regulado bajo el decreto legislativo N°1278 “*La Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos*” que bajo el principio de Protección del ambiente y la salud pública establece que la gestión integral de residuos comprende las medidas necesarias para proteger la salud humana y al ambiente; está a su vez en su artículo 6° inciso f procura que la gestión de los residuos contribuya con la lucha contra el cambio climático. Según la Ley N°30754 “*Ley Marco del Cambio climático*” el Estado debe promover políticas y acciones

orientadas a prevenir los impactos y riesgos asociados al cambio climático; a su vez también modifica La Ley Orgánica de las Municipalidades, Ley N° 27972 en su artículo 73° inciso 3.1 que establece la competencia de formular, aprobar, ejecutar y monitorear los planes y políticas en materia ambiental y al cambio climático.

1.4.2. Justificación Socioeconómica

Al poder identificar los impactos sociales generados del manejo inadecuado de los residuos sólidos municipales permite mitigar y evitar impactos ambientales, mejorando la calidad de aire, calidad del suelo, calidad de agua y el ornato municipal. El problema no solo radica en la gestión de las autoridades, sino también en los ciudadanos que al desconocer el impacto que generan sus residuos sólidos siguen incrementándose teniendo consecuencias mundiales.

Según el último reporte de SIGERSOL 2021, la municipalidad de Bellavista tuvo un costo anual del mantenimiento de la infraestructura de almacenamiento, servicio de recolección y transporte y disposición final en el relleno sanitario por un total de S/ 3,813,574.87; lo cual equivale a S/. 111.34 por TM de Residuos Sólidos Municipales dispuestos. No obstante, según (Kaza et al. 2018) menciona países como el Perú podría generar un gasto menor al manejar estos residuos mediante técnicas eficientes de valorización de residuos para una reducción en el total de los residuos generados, obteniendo un mayor beneficio.

1.4.3. Justificación en salud:

Los impactos ambientales generados por los residuos sólidos conllevan a impactos en la salud y esto se da por el aumento agigantado de los residuos que al no ser dispuestos correctamente pueden llegar a lugares que no cuentan con las condiciones de infraestructura ambientales y afectando la calidad de vida de las personas. Debido al alto contenido de material orgánico hace que aumente los patógenos microbianos y puede llegar a provocar enfermedades infecciosas y crónicas en los trabajadores, segregadores y recolectores si no laboran

formalmente. Causando en la salud problemas en el sistema respiratorio, irritación en piel, ojos y nariz y otros como alergias por la quema de RSM.

1.5. Delimitantes de la investigación

1.5.1. Teórico:

A nivel mundial el análisis de ciclo de vida es una herramienta ambiental muy aplicada en la gestión de los residuos sólidos municipales que tiene respaldo de entidades internacionales de bases de datos como Ecoinvent y en Perú solo hay una institución de PERULCA con apoyo de la universidad Pontificia Católica del Perú (PUCP) que viene trabajando en diversos estudios relacionados con el ACV y creando bases de datos adaptados a nuestra realidad, pero no específicamente en el manejo de residuos sólidos municipales en sus distintas etapas, siendo de total importancia esta investigación en el desarrollo en materia ambiental del país.

Además, existe la necesidad de inventariar y categorizar datos sobre los RSM mediante la metodología de la NTP-ISO 14044:2019, la cual se utilizó como referente la base de datos de Ecoinvent donde se obtuvieron datos globales y esta base de datos han sido procesados a través de diversos software relacionados con el MRSM, pero en este estudio se está usando un software de código abierto llamado OpenLCA; sin embargo, al utilizar la base datos existente de otros países, la estimación y/o proyección de datos pueda ser que el impacto ambiental pueda ser sensible al cálculo para la determinación de posibles impactos ambientales en diferentes condiciones geográficas y climatológicas (Ziegler-Rodriguez et al. 2019; Ferronato et al. 2021).

1.5.2. Temporal:

Se analizó todos los datos generados en un periodo de un año, como se indican en investigaciones de ACV empleándose el año más próximo, ya que al abarcar más tiempo las circunstancias del manejo pueden variar por las

condiciones de sus operaciones en residuos sólidos, con respecto a la información que es necesaria al introducir al software y variar la cuantificación de los impactos ambientales. Por ello, no se está trabajando con información actual porque aún no se encuentran en las plataformas de transparencia pública que son datos oficiales, como es el caso de Sistema de Información de Gestión de Residuos Sólidos (SIGERSOL) y del Ministerio del Ambiente (MINAM), ente rector del sector ambiental, por lo tanto, se trabajó con información del año 2021.

1.5.3. Espacial

Tiene una delimitación espacial en el distrito de Bellavista, Provincia Constitucional del Callao. Según los censos realizados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en el año 2017, el distrito tiene un total de 74 851 habitantes, representando 7.5% de la Provincia Constitucional del Callao, con una Generación Per Cápita (GPC) de 0.97 kg/hab/día que es la cantidad de RSM que un ciudadano de Bellavista produce al día. Esta información es publicada en la plataforma de SIGERSOL con respecto a las cantidades de RSM producto de la generación de los residuos de los ciudadanos, la cantidad de residuos dispuestos en el relleno sanitario, la cantidad de residuos valorizados en las plantas de reciclajes y compostaje en las diversas jurisdicciones distritales.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Se han analizado diversos antecedentes teóricos y prácticos con relevancia para la investigación a nivel internacional y nacional, que sirven de sustento para cada acápite de esta investigación.

2.1.1. Antecedentes Internacionales

(Ferronato et al. 2021) realizaron la investigación sobre “Sensitivity analysis and improvements of the recycling rate in municipal solid waste life cycle assessment: Focus on a Latin American developing context” [**Análisis de sensibilidad y mejoras de la tasa de reciclaje en la evaluación del ciclo de vida de los residuos sólidos municipales: enfoque en un contexto de desarrollo latinoamericano**], con el objetivo de evaluar qué parámetros en el sistema de gestión de residuos sólidos municipales son más sensibles, se determinó los resultados obtenidos del Análisis de Ciclo de Vida; donde se analizó a corto plazo sobre la tasa de reciclaje. Los límites del sistema involucraron la recolección, transporte, reciclaje y disposición final. Esto se implementó en Bolivia (La Paz) representándose los límites geográficos para la investigación. Así mismo, se utilizó el software WRATE donde se evalúa seis categorías de impacto ambiental entre ellos: Potencial de calentamiento global (kg CO₂-eq), acidificación potencial (kg SO₂ -eq), Potencial de eutrofización (kg P-eq), Potencial de ecotoxicidad acuática de agua dulce (kg1,4-DCB-eq), Potencial de toxicidad humana (kg 1,4-DCB-eq) y agotamiento de los recursos abióticos (kg Sb-eq) y el análisis de escenarios donde permitió analizar los buenos efectos con el reciclaje que son logros a nivel municipal en realizar buenas prácticas ambientales. Se utilizó por tonelada de residuos sólidos que ingresa al sistema con el método análisis de CML 2001 como base de datos. Asimismo, se concluye que el relleno sanitario es el que afecta más al ambiente, y del análisis de sensibilidad que se trabaja con parámetros para mostrar la reducción del impacto ambiental donde el reciclaje de materias inorgánicas no se ve afectado por este análisis. Esta investigación evidencia que el análisis de

ciclo de vida con un enfoque de análisis de sensibilidad para los parámetros utilizados, contribuye a tener una información más válida, como es el caso de la gestión de los residuos sólidos municipales.

(Demir y Taşkın 2020) en su investigación titulada “Life cycle Environmental and energy impact assessment of sustainable urban municipal solid waste collection and transportation strategies” [**Evaluación del impacto ambiental y energético del ciclo de vida de las estrategias sostenibles de recolección y transporte de residuos sólidos municipales urbanos**], tuvo como objetivo evaluar la determinación del impacto ambiental y energético de la recolección y transporte de un total de 11 municipios distritales de la provincia de Kayseri y 5 municipios sub provinciales, Turquía, con 16970 km², 1 407409 habitantes y una Generación Per Cápita (GPC) de 0.95 kg/día, pretendiendo dar solución a los problemas que acontece la localidad y que el gobierno de Turquía respecto al manejo de los residuos sólidos municipales que son dispuestos en botaderos a cielo abiertos en los 11 municipios distritales. Para ello se establecieron tres diferentes escenarios de recolección, de acuerdo al Plan Maestro de la región, en donde se propusieron diferentes ubicaciones de 03 estaciones de transferencias para el primer escenario, para el segundo se establecieron 02 rellenos sanitarios y 01 estación de transferencia; y para el tercer escenario se establecieron 02 estaciones de transferencia y 01 relleno sanitario. En función a ello se utilizó la metodología ISO 14040 e ISO 14044 para el análisis de ciclo de vida y para la evaluación de impactos se utilizó la metodología CML versión 3.04, con una unidad funcional de 01 tonelada de residuos sólidos recolectados. Se obtuvo para los diferentes escenarios, el escenario 01 obtuvo el menor impacto en todas sus categorías, en donde para la categoría de Potencial de Calentamiento Global el escenario 01 cuenta con 2.50 E+02 kg CO₂-eq, en cambio, para el escenario 2 4.00 E+02 CO₂-eq. En conclusión, los resultados de construcción de una transferencia redujeron todas las puntuaciones de impacto a comparación con la situación actual y que al haber una planta de transferencia pueden ser transferidos los residuos indirectamente a estos y posteriormente ser transportados al relleno sanitario. Es por ello, que los residuos sólidos gestionados adecuadamente generan

menores impactos ambientales y energéticos para establecer un desarrollo sostenible en el manejo y gestión de los residuos sólidos municipales.

(Khandelwal et al. 2018).publicaron la investigación: “*Application of Life Cycle Assessment in Municipal Solid Waste Management: A Worldwide Critical Review*” [**Aplicación de la evaluación del ciclo de vida en la gestión de residuos sólidos municipales: una revisión crítica mundial**]. Su objetivo fue evaluar la distribución del análisis de ciclo de vida en la gestión de residuos sólidos urbanos a nivel mundial. Se evaluaron 153 estudios de análisis de ciclo de vida que están desarrollados en la gestión de residuos sólidos urbanos, clasificándose según su área de estudio, composición de residuos sólidos y sus formas de manejo, unidad funcional, límites de sistema, software y niveles económicos de los países. Asimismo, se destaca al continente asiático, donde China fue el país que más estudios en ACV y a nivel Latinoamericano resaltó Brasil. Según el análisis aplicado, no hay una constante en la realización de esta metodología, pero han influido en la realización de otros países. La unidad funcional más usada es de 1t de residuos sólidos urbanos con 88 estudios, pero esto depende del objetivo y alcance de estudio. Con la ayuda de software especializados para el análisis de ciclo de vida que ayudan a simplificar y cuantificar los sistemas de gestión de residuos sólidos urbanos para brindar beneficios y analizar los impactos de las cargas ambientales. Finalmente, El análisis de ciclo de vida es una herramienta ambiental de suma importancia para los tomadores de decisiones, pero su aplicabilidad necesita de calidad de información, tiempo y factor económico. Esta herramienta contribuye a tomar decisiones para la correcta gestión en el manejo de los residuos sólidos municipales.

(Cremiato et al. 2018), realizaron la investigación sobre “*Environmental impact of municipal solid waste management using Life Cycle Assessment: The effect of anaerobic digestion, materials recovery and secondary fuels production*” [**Impacto Ambiental del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales usando el Análisis de Ciclo de Vida: Efectos de la digestión anaeróbica, recuperación de materiales y producción secundaria de**

combustibles], en donde tuvo como objetivo comparar los impactos ambientales para cuatro diferentes escenarios del manejo de los residuos aprovechables (polietileno, polietileno tereftalato, polipropileno, metal y fibra celulosa) según el porcentaje del total de residuos recolectados (50% y 60%), que son aprovechados y llevados a valorizar y la composición de los residuos por valorizar en la provincia de Caserta, para un total de 924 614 habitantes al sur de Italia. Además, los escenarios base son la recuperación de materiales, compostaje y la incineración para su aprovechamiento adecuado del manejo del residuo. Establecieron como unidad funcional 1 tonelada de residuos sólidos y en su tratamiento del impacto ambiental consideró la metodología CML 2. Se concluye que el mejor escenario era sobre el recojo de residuos en un 60% para un manejo de digestión anaeróbica y producción de biogás para tratar los residuos orgánicos; y a su vez el mejoramiento en la reprocesamiento de materiales reciclables; obteniéndose una reducción del Potencial de Calentamiento Global en un 166% y del Potencial de Eutrofización disminuyó en un 646% respecto al escenario base. Esto demuestra que los impactos causados por los residuos sólidos aprovechables se ven mejorados al aumentar la tasa de recogida de los residuos sólidos aprovechables, que es un porcentaje del total de los residuos sólidos municipales, y pues que al ser tratados como material energético producirán menores impactos y mayores beneficios al medio ambiente.

(Yadav y Samadder 2018) realizaron el estudio sobre “A critical review of the life cycle assessment studies on solid waste management in Asian countries” **[Una revisión crítica de los estudios de evaluación del ciclo de vida sobre la gestión de residuos sólidos en países asiáticos]**, tiene como objetivo el abordar la distribución del Análisis de ciclo de vida en los países asiáticos, evaluando los tipos de residuos y los escenarios en las alternativas ambientales. Se evaluaron 91 estudios en análisis de ciclo de vida en manejo de residuos sólidos municipales pertenecientes a países asiáticos entre los años 2006 al 2017, también se analizó el crecimiento y el uso de la metodología, las categorías de impacto ambiental y los resultados. Siendo un 95% de estudios de ACV, han considerado el Potencial de Calentamiento Global como una categoría de gran

interés mundial y una preocupación científica. Por otra parte, se evaluó todo el proceso desde la extracción, construcción, operación y la eliminación de desechos, pero la variación de la terminología radica en los métodos (ReCiPe, EDIP97, Ecoindicator 99 y CML 2000). Se concluye que los escenarios más utilizados en contribución con el ambiente son el compostaje con un 52% y el reciclaje con un 25%, y entre estas alternativas el reciclaje es la opción con una mínima emisión de Gases de Efecto Invernadero, pero la que genera mayor impacto es el vertido abierto y le prosigue la disposición final. Se detecta en la investigación que la metodología del Análisis de ciclo de vida evalúa como mejor alternativa ambiental al compostaje y reciclaje para la minimización de los impactos ambientales.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

(Cristóbal et al. 2022) en su investigación “Climate change mitigation potential of transitioning from open dumpsters in Peru: Evaluation of mitigation strategies in critical dumpsites” [**Potencial de mitigación del cambio climático de la transición de basureros a cielo abierto en Perú: Evaluación de estrategias de mitigación en vertederos críticos**], tiene como objetivo es cuantificar los residuos biodegradables pasados y presentes producidos y dispuestos en los basureros abiertos más críticos a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de Perú donde se utiliza el método del IPCC. Donde se estimó la categoría ambiental de potencial de mitigación del cambio climático de posibles estrategias de cierre de vertederos basadas en una selección de tecnologías, incluida el enfoque económico. Asimismo, los resultados muestran que las emisiones de GEI en los 24 vertederos críticos evaluados sumaron 704 kt CO₂-eq para el año 2018. En conclusión, las emisiones totales atribuibles a la inacción en la gestión de residuos son de aproximadamente 848 kt CO₂-eq para el período de diez años, lo que representa el 0.3 % de las emisiones de residuos sólidos previstas para 2030. Esta investigación ayuda a indagar sobre el potencial de mitigación del cambio climático, siendo una categoría de impacto de interés nacional.

(Rosa Dextre 2020) realizó el estudio: **“Análisis de Ciclo de Vida (ACV) del manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) por la empresa operadora de residuos COMIMTEL S.A.C.”**, Lima, periodo 2017-2019. Su objetivo fue calcular los impactos ambientales del manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) por la empresa operadora de residuos COMIMTEL S.A.C., en base al análisis de ciclo de vida (ACV) el cual tuvo una unidad funcional de 1TM de RAEE. Se utilizó para la determinación del ACV el software OpenLCA 1.7.2, el cual el uso la base de datos de Ecoinvent para poder así determinar mediante la metodología de ReCiPe las 18 categorías de impacto, en donde se obtuvo que 9 de las 18 categorías contribuyen en reducir impactos ambientales. Finalmente, se afirma que el tratamiento primario de los RAEE genera impactos positivos al ambiente, entre las que se encuentra el calentamiento global, ecotoxicidad terrestre, ecotoxicidad marina y agua dulce, toxicidad humana, eutrofización marina, formación de material particulado, formación de oxidantes fotoquímicos y acidificación. Es por ello que es beneficioso emplear esta metodología y poder analizar los impactos que genera el ciclo de vida y saber qué proceso es el que tiene mayor potencial de impacto ambiental positivo.

(Kahhat et al. 2019) en su investigación titulada “Enhancing waste management strategies in Latin America under a holistic Environmental assessment perspective: A review for policy support” [**Mejorando las estrategias de gestión de residuos en América Latina bajo una perspectiva de evaluación ambiental holística: una revisión para el apoyo de políticas**] el cual tiene como objetivo principal brindar apoyo normativo pertinente y ambientalmente adecuado a las partes interesadas en la gestión de desechos a través de una revisión crítica de la situación actual del sector de gestión de los residuos sólidos urbanos en América Latina desde una perspectiva ambiental, donde se usa la bibliografía del ACV vinculada a la gestión de residuos para comprender las posibles estrategias y alternativas de gestión de los residuos como también los beneficios ambientales que se podría alcanzar. La metodología usada para la verificación de la bibliografía consistió en estudiar las investigaciones publicadas en revistas indexadas que hagan referencia al ACV

de alguna etapa de disposición y/o tratamiento de los residuos en países de Latino América y el Caribe (LAC). Del cual se pudo obtener que para los diferentes países de la región LAC no cuentan con tecnologías de tratamiento y disposición eficientes y más aún no se ha logrado eliminar los botaderos informales que disponen a cielo abierto y son los que más contaminan al medio ambiente. Es por ello que diversos autores pretenden cuantificar los impactos ambientales que generan en función a diversas categorías impacto ambiental, no obstante, la calidad de estos resultados dependerá de la metodología de impacto ambiental utilizada, entre ellas una de los más resaltantes y actualizada es ReCiPe 2016. Es de consideración que para las categorías de Toxicidad Humana o Ecotoxicidad aún se están evaluando las caracterizaciones de miles sustancias, por lo que habría subestimaciones e incertidumbre en los factores de caracterización. A su vez, la calidad de los datos depende de las condiciones climatológicas del lugar de estudio, es por ello que al momento de modelar deberá ser considerado estas variables en el estudio para poder obtener datos de calidad con poca incertidumbre. De este modo, para efectos del ACV los datos que se emplearán en el Inventario de Ciclo de Vida (ICV) deberán ser sometidos por un análisis de Incertidumbre, entre los más conocidos el Análisis de Monte Carlo. En conclusión, la región LAC aún se encuentra en la transición de disposición final de los residuos sólidos en botaderos a cielo abierto a rellenos sanitarios, como a su vez se pretende incluir nuevas tecnologías de manejo que incorporen la quema del metano producida en estos para disminución de los GEI. Sin embargo, las condiciones climatológicas trópicas deben considerarse debido a que aumentan las tasas de descomposición de los residuos orgánicos con la temperatura y humedad. Es por ello que las autoridades de política deben considerar las condiciones climatológicas específicas del lugar para un diseño sostenible del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales con apoyo de las herramientas de ACV.

(Ziegler-Rodriguez et al. 2019) publicaron *“Transitioning from open dumpsters to landfilling in Peru: Environmental benefits and challenges from a life-cycle perspective”* [**Transición de basureros abiertos a rellenos sanitarios en Perú: beneficios y desafíos ambientales desde una perspectiva de ciclo de vida**]. Su objetivo de investigación fue realizar un análisis comparativo del proceso de tratamiento de residuos con otras tecnologías de rellenos sanitarios (combustión de biogás, recuperación de energía) y botaderos a cielo abierto, por el análisis de ciclo de vida de la disposición de residuos sólidos en tres rellenos sanitarios diferentes ubicaciones geográficas, estas fueron en la costa, sierra y selva del Perú. En el cual utilizaron la metodología de la ISO 14040: 2006 “Gestión Ambiental – Análisis del ciclo de vida – Principios y marco de referencia”, estableciendo como Unidad Funcional (UF) del estudio 1 tonelada métrica de Residuos Sólidos Urbano que es dispuesta en un relleno sanitario peruano por un periodo de 100 años. Teniendo un alcance que parte desde la construcción, operación y cierre, que a su vez incluye el ingreso de recursos, residuos urbanos y salidas como emisiones al ambiente, compost y residuos reciclables; sin embargo, no está dentro del alcance los procesos de recolección de residuos sólidos urbanos, transporte y estaciones de transferencias de residuos. La recopilación de los datos fue a través de cuestionarios, entrevistas y datos secundarios, recopilados de publicaciones y de base de datos de Ecoinvent; estos datos fueron organizados e interpretados a través de un Inventario de Ciclo de Vida (ICV) del proceso, pasando por un Análisis de Sensibilidad y finalmente modelados mediante software EASETEACH. Se obtuvieron como resultado que obtuvieron mayor cantidad de impacto en términos de emisiones del relleno sanitario en Cuzco (sierra) GEI, 1.42 t CO₂-eq por UF, un 2.3% superior al de Nauta (selva) con 1.38 t CO₂-eq por UF y 137% superior al de Lima con 594 kg CO₂-eq por UF. Se concluye que el presente estudio demuestra que la transición de un botadero de cielo abierto a un relleno sanitario genera un cambio drástico en el medio ambiente, donde el factor fundamental del cambio fue la quema de metano en el escenario de un relleno sanitario con tratamiento de gases, mitigando al ambiente un promedio de 50%-76% en comparación a un escenario sin tratamiento de gases. El aporte de esta

investigación es la determinación del ACV que se aplica a la disposición final en un municipio peruano y que es una alternativa para los residuos sólidos al realizar su interpretación.

Finalmente, (Gilardino et al. 2017), realizaron su investigación en “Combining operational research and Life Cycle Assessment to optimize municipal solid waste collection in a district in Lima (Perú)” [**Combinando investigación operativa y Análisis de Ciclo de Vida para optimizar la recolección de residuos sólidos municipales en un distrito de Lima (Perú)**], tienen como objetivo designar la ubicación de los sitios de recolección general de residuos para asegurar que los ciudadanos caminen lo menos posible para eliminar sus desechos. La evaluación del análisis de ciclo de vida tiene un enfoque atribucional con una perspectiva retrospectiva, con un cálculo dado por la metodología de ReCiPe donde se utilizó las siguientes categorías de impactos como la formación de oxidantes fotoquímicos, el potencial de acidificación, la formación de materia particulada, el agotamiento del agua, agotamiento de metales y agotamiento de fósiles. Pero, para el potencial de calentamiento global se usó el método del IPCC. El software empleado para realizar el análisis fue SimaPro v8.2 se analizaron tres escenarios, uno para la tasa de recolección de los camiones, otro el mantenimiento de los camiones y por último la emisión de los camiones compactadores. Además, luego de aplicar el algoritmo heurístico se obtuvo las rutas de recolección donde se lograron reducciones importantes para las categorías de contaminación del aire, como partículas finas (35%) y Formación de Oxidantes fotoquímicos (31%), así como para potencial de acidificación (28%). En resumen, las emisiones de GEI también se reducen en un 13% de 3.19 kg CO₂-eq por t de residuo recogido a aproximadamente 2.78 kg CO₂-eq. Finalmente, la optimización del recojo de los residuos sólidos sería un gran paso para reducir los niveles de contaminación del aire. Esta investigación contribuye en la disminución de emisiones por la etapa de recolección y transporte en el manejo de los residuos sólidos.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Economía circular y los residuos sólidos municipales

La economía circular sirve como desarrollo sostenible en la contribución del ambiente y de la sociedad con un uso y consumo de recursos que se incorporan a un ciclo de vida sostenible haciendo viable en el tiempo. Además, se sustenta la necesidad a nivel global de realizar una transición hacia fuentes de energía renovables como materiales renovables, el concepto reconoce la importancia de que la economía funcione eficazmente en todas las escalas económicas. Teniendo como uno de sus principios de eliminar residuos y contaminantes desde el diseño del producto o proceso que son un eje importante al hablar sobre el manejo adecuado de los residuos sólidos municipales. (Ellen MacArthur Foundation 2019) .

Por ello, al desarrollarse la economía circular debe tener un fin ambiental, social y económico alineado a la Agenda 2030, ya que el actual modelo aplicado en el mundo es una economía lineal el cual está teniendo repercusiones dañinas a gran escala por los patrones de consumo, que es la principal causa de la generación excesiva de los residuos sólidos y se busca que con un diseño ambiental en sus procesos promover las mejoras en la reutilización, reciclado, recuperación de energía mediante tratamientos en los residuos y la disposición de los residuos (CEPAL 2021).

Los países desarrollados son los que generan mayor cantidad de residuos sólidos domiciliarios, por persona se genera un aproximado de 1 kg por día siendo la generación de un país subdesarrollado mucho menor a un país desarrollado .Por ello hay varias iniciativas de una mejor gestión en el ciclo de vida de los productos o servicios .Asimismo, América Latina y el Caribe (ALC) tiene el desafío de centrarse en la gestión adecuada de los residuos sólidos municipales y otros residuos para dar mejoras ambientales, Ya que la población sigue aumentando con un 9,600 millones de habitantes para el año 2050 y es necesario preservar el ambiente y los recursos naturales. Entre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y las metas que se quieren lograr son las siguientes (CEPAL 2021):

- Meta 8.4: Mejorar el consumo de los recursos y desvincular de la degradación del medio ambiente por el excesivo crecimiento económico.
- Meta 11.6: Disminuir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, en especial de la gestión de los desechos municipales y de otros tipos.
- Meta 12.4: Gestionar ecológicamente todos los desechos a lo largo de su ciclo de vida.(CEPAL 2021)

Actualmente la normativa ambiental peruana busca la mejora en el manejo de los residuos sólidos. Es por ello, necesario aplicar el sistema de economía circular como se muestra en la **Figura 1**, en una mejora de los residuos generados.

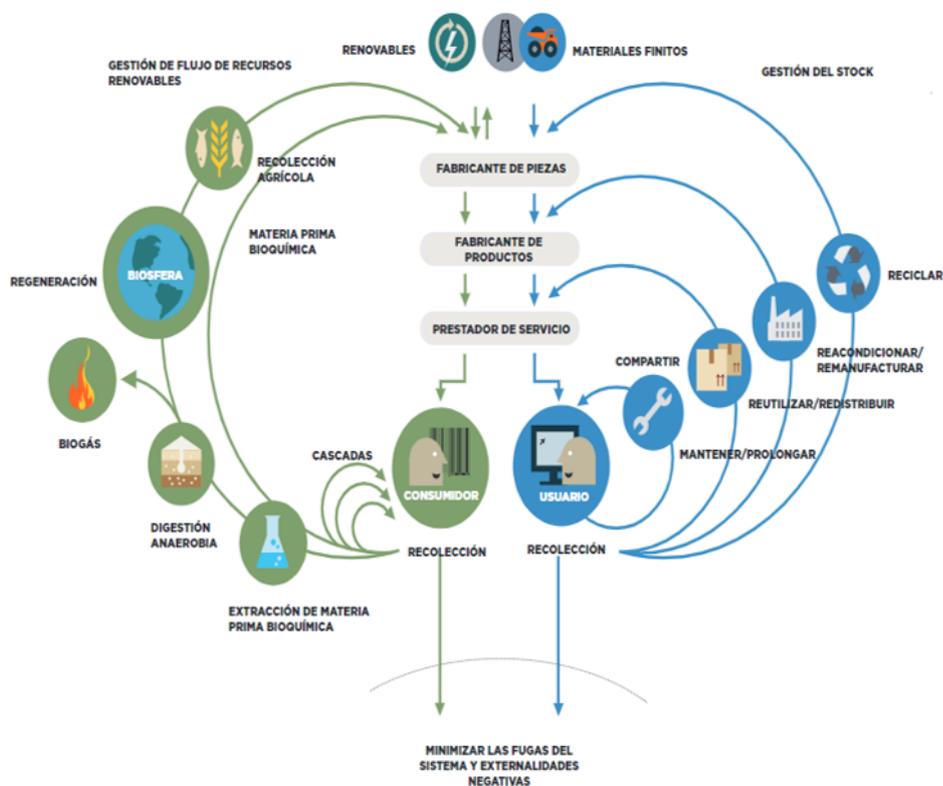


Figura 1. Diagrama del Sistema de Economía Circular por (Ellen MacArthur Foundation 2019).

2.2.1. Gestión de los residuos sólidos municipales

La gestión integral de residuos sólidos se entiende como un conjunto de procesos que son orientados a dar a los residuos el destino óptimo adecuado desde una dimensión económica y ambiental, contando con sus características, volumen, procedencia, costo de tratamiento y normativa legal (Orihuela Paredes 2018).

En el Perú, la gestión de residuos sólidos es de competencia de las municipalidades provinciales, en lo que concierne a los distritos, y las municipalidades distritales son responsables por la gestión de los residuos sólidos de origen domiciliario, especiales y similares, en el ámbito de su jurisdicción (MINAM 2017).

Hoy en día, una inadecuada gestión de residuos sólidos genera impactos negativos, que van desde enfermedades entéricas, deterioro de la calidad de aguas superficiales por escurrimiento de lixiviados por el incremento de residuos orgánicos y otros, y deterioro en la calidad de aire por las emisiones de gases de efecto invernadero, Asimismo, producen efectos en el cambio climático y el ambiente que día a día hay una lucha por disminuir estos efectos por parte del estado y de una sociedad más consciente (Orihuela Paredes 2018).

2.2.2. Ciclo de vida de un producto

El ciclo de vida tiene etapas consecutivas e interrelacionadas que consisten en la adquisición o generación de materias primas, fabricación, distribución, uso, valorización y su eliminación como residuo (MINAM 2017). El análisis de ciclo de vida es una nueva alternativa para poder mitigar el impacto ambiental de una forma más rápida y eficiente.

Actualmente, el producto tiene un ciclo de vida muy corto, por tal motivo ahí la necesidad de producir generando más cantidad de residuos sólidos, ya que no tienen un ciclo de vida largo.(Cotrina Cabello, Taype Landeo y Ore Areche 2020).

2.2.3. Impacto ambiental

Es la alteración en el medio ambiente positiva o negativa que da como resultado total o parcial de alguna actividad o proceso (ISO 14000: 2015). El impacto ambiental de un producto comienza con la extracción de las materias primas y finaliza si la vida útil del producto concluye en un residuo (Romero Rodríguez 2003).

2.2.4. Análisis de Ciclo de Vida

El Análisis de Ciclo de Vida es una metodología empleada a escala global como una estrategia ambiental (Bernstad Saraiva, Souza y Valle 2017), en el manejo de los residuos sólidos municipales (Iqbal, Liu y Chen 2020; Khandelwal et al. 2018), si no también es muy aplicada en comparación de producción para identificar que alternativa es más viable en términos de sostenibilidad y así, evaluarlas bajo criterios cuantitativos, pues dependen de las características de los productos, insumos o recursos consumidos y residuos que se puedan generar.

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Análisis de Ciclo de Vida en el Manejo de los Residuos Sólidos Municipales

El Análisis de Ciclo de Vida es una herramienta utilizada para cuantificar los impactos ambientales en procesos, etapas, sistemas y/o parámetros específicos, por ello se usa en la aplicación del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales (MRSM) para evaluar las posibles mejoras ambientales (Turner, Williams y Kemp 2016; Ferronato et al. 2021).

2.3.1.1. Manejo de los residuos sólidos municipales

El manejo de los residuos sólidos municipales comprende varias operaciones o procesos (MINAM 2017), siendo actividades operativas con un alcance desde la generación de los residuos sólidos conllevando a la recolección de los residuos sólidos a un acondicionamiento de recolección

selectiva y su posterior transporte y este dependerá del tipo de residuo sólido municipal, ya que un porcentaje será destinado para la valorización con fines de comercialización y al no obtener el aprovechamiento del residuo se opta por la disposición final que se dirige a un relleno sanitario que cumpla con estándares dispuestos por la entidad competente (MINAM 2016b).

Los desafíos en el manejo de los residuos sólidos incluyen temas de interés recopilados a nivel mundial:

- La carencia de recursos económicos, para operar los sistemas de recolección, transporte y eliminación de residuos tanto con fines de valorización o disposición final, provocada por una carencia económico en los gobiernos y en los hogares.
- Dificultad en los diseños de sistemas de recolección, transporte y eliminación de residuos y otros por los gobiernos regionales y locales, asimismo, se prioriza que se realice minimizan los impactos ambientales cumpliendo con la cobertura de la localidad.
- Falta de planificación en la aplicación de las tecnologías ambientales que sean sostenibles y que se prevea la tierra y aceptación de la población en la aplicación (Kaza et al. 2018).

Por fines didácticos según el alcance de la investigación, se detalla las etapas del manejo operativo de los residuos sólidos municipales aplicados en el Análisis de Ciclo de vida:

A. Etapa de recolección y transporte:

La recolección de los residuos debe ser selectiva y efectuada de acuerdo a las disposiciones emitidas por la autoridad municipal correspondiente. Los recicladores y/o asociaciones de recicladores debidamente formalizados se integran al sistema de recolección selectiva implementado por la municipalidad correspondiente y posee una estrecha relación al transporte que constituye en el proceso de manejo de los residuos sólidos ejecutado por las municipalidades u empresas operadoras de residuos sólidos autorizadas, consistente en el traslado

apropiado de los residuos recolectados hasta las infraestructuras de valorización o disposición final(MINAM 2017).

Además, la recolección de residuos y el transporte están asociados estrechamente en el manejo operativo, generando altos costos al realizar una cobertura en todas las jurisdicciones de interés. Así, una ciudad podrá optimizar las rutas de recorrido y minimizar camiones compactadores u otros que no sean necesarios (Longhi et al. 2012,.Kaza et al. 2018).

B. Etapa de valorización:

La valorización constituye la alternativa de gestión y manejo que debe priorizarse frente a la disposición final de los residuos. Esta incluye las actividades de reutilización, reciclaje, compostaje, valorización energética entre otras alternativas, y se realiza en infraestructura adecuada y autorizada para tal fin(MINAM 2017).

Además, en escala local se realizan programas de residuos para apoyar en la valorización de RSM, como la separación en el origen de los hogares, reciclaje y compostaje.(Kaza et al. 2018), Además, esta etapa requiere de plantas de valorización donde se realice la operación que deben cumplir con los requisitos de infraestructura dados por la normativa (MINAM 2017).

- El reciclaje

Constituye una forma de valorización material, que consiste en la transformación de los residuos sólidos en productos, materiales o sustancias, que conserven su finalidad original o cualquier otra finalidad(MINAM 2017).

- Compostaje:

Es un proceso que aplica la optimización de descomposición de forma natural de los residuos orgánicos obtenidos de alimentos, el jardín y desechos agrícolas en un producto similar a un fertilizante, llamado compost. Se utiliza para mejorar la calidad del suelo en granjas, parques y jardines domésticos, Asimismo, solo un 6% se composta de residuos orgánicos generados a nivel

mundial siendo el 44% producto de residuos sólidos municipales, pero estos residuos deben segregarse en la fuente o en la planta para asegurar la calidad del compost (MINAM 2017; Kaza y Bhada-Tata 2018).

Características para utilizar a escala municipal:

- Capacidad del proceso: 1-1000 t/día
- Olor: puede ser significativo si no es correctamente aireado.
- Tiempo requerido: varias semanas, dependerá de niveles de oxígeno, humedad, temperatura, nutrientes
- Producción de lixiviados: Bajo(Kaza et al. 2018)

C. Etapa de disposición final:

Los residuos que no puedan ser valorizados por la tecnología u otras condiciones debidamente sustentadas, deben ser aislados y/o confinados en infraestructuras debidamente autorizadas, de acuerdo con las características físicas, químicas y biológicas del residuo con la finalidad de eliminar el potencial peligro de causar daños a la salud o al ambiente (MINAM 2017). En la **Tabla 1**, se puede destacar que para la Provincia Constitucional del Callao tiene como Relleno Sanitario Modelo del callao.

Tabla 1. Instalaciones de Disposición Final

Ítem	Departamento o Provincia Constitucional	Descripción del RS
1	Lima	Portillo Grande Zapallal
2	Callao	Huaycoloro Modelo del Callao

Nota: Rellenos sanitarios para la disposición final en Lima y Callao donde se concentra la mayor población, (MINAM 2016b).

2.3.1.2. Análisis de ciclo de vida según la NTP-ISO 14044:2019

El Análisis de Ciclo de Vida es una herramienta utilizada para evaluar aspectos ambientales y sus potenciales impactos asociados a un producto o proceso según la recopilación de inventarios de entradas y salidas de mayor importancia en el sistema. Con base a ello se evalúa los posibles impactos asociados a cada etapa del proceso o producto y finalmente estos resultados son interpretados de acuerdo con los objetivos del estudio (Capuz Rizo et al. 2004).

Debido a que el ACV es una herramienta que analiza todo el sistema de estudio y permite cuantificar impactos, según los objetivos trazados, es un muy buen indicador para establecimientos de políticas ambientales en el campo de los residuos sólidos que permiten ser cuantificadas en su proyección del gobierno (Kahhat et al. 2019; Turner, Williams y Kemp 2016). El Análisis de Ciclo de Vida determina los flujos de entradas y salidas de cada etapa de un proceso que se encuentren dentro del sistema, es por ello que es de suma importancia deber establecer el alcance de la investigación y sus delimitantes de acuerdo a los objetivos a alcanzar y a la calidad de datos que se espera poder recolectar en el proceso de Inventario de Ciclo de Vida (ICV) (Kahhat et al. 2019).

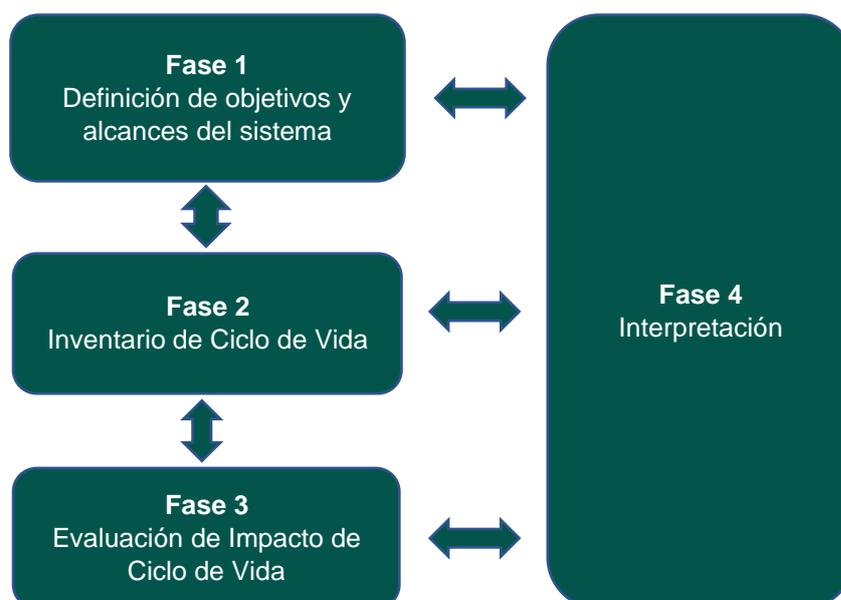


Figura 2. Metodología representada en las cuatro fases de Análisis del Ciclo de Vida. Adaptado de la NTP ISO14044:2019.

Fase 1: Definición de objetivos y alcances del sistema

- Objetivo del estudio

La definición del objetivo es la primera fase del estudio del ACV, independientemente si se encuentra limitada al desarrollo de un único estudio o si corresponde a un estudio comparativo de ACV que deberá ser publicado (European Commission et al. 2010). Se debe definir el objetivo del estudio de la investigación considerando la aplicación prevista, las razones para realizar el estudio, personas a la que se pretenda comunicar la investigación y a las aseveraciones comparativas que se pretenda divulgar al público (INACAL 2019). En conclusión, una definición clara del objetivo inicial permite garantizar que los resultados del estudio no se puedan interpretar de forma involuntaria y errónea con respecto a los objetivos inicial trazado (European Commission et al. 2010).

- Alcance del estudio

Según (INACAL 2019) define que dentro del alcance se deben considerar lo siguiente para tener un mejor estudio basado en la realidad de la investigación:

- El sistema del producto bajo estudio.
- Las funciones del sistema del producto.
- La unidad funcional.
- Los límites del sistema.
- Los procedimientos de asignación.
- La metodología de la EICV y los tipos de impactos.
- La interpretación a utilizar.
- La calidad de los datos.

- Límites del sistema

Los límites del sistema determinan los procesos unitarios que se deben incluir dentro del ACV; a su vez es recomendable utilizar diagramas de flujos de procesos que muestre los procesos unitarios y sus interrelaciones con el sistema (INACAL 2019).

- Las suposiciones y los juicios de valor.

Durante el desarrollo de la investigación deberá considerarse futuros ajustes tanto objetivo y alcance en caso se requiera (INACAL 2019); debido al proceso de iteración constante de la técnica del ACV que debe ajustarse a los objetivos trazados del estudio (ISO 2006; European Commission et al. 2010).

- Función y unidad funcional

La unidad funcional deberá tener coherencia con el objetivo y el alcance del estudio, debido a que uno de los propósitos principales de la unidad funcional es el proporcionar una referencia por la cual se normalizan los datos de entrada y salida, explicado en un sentido matemático, por lo que esta deberá ser medible (INACAL 2019). Estos datos de entrada y salida se expresan como flujo de referencia por lo cual será importante poder establecer a base de las mismas funciones para poder garantizar la comparabilidad de los resultados del ACV (ISO 2006). Es importante detallar que el no contar con unidad funcional o no expresarla según los objetivos a lograr es considerado crítico para la validez de los resultados (Laurent, Bakas, et al. 2014).

Fase 2: Inventario de Ciclo de Vida

Los datos cualitativos y cuantitativos que se incluirán en el Inventario de Ciclo de Vida que se deben recopilar para cada uno de los procesos unitarios existentes dentro de los límites del sistema; estos datos al ser recopilados de fuentes públicas deberá referenciar la fuente; a su vez para los datos de mayor relevancia del estudio se deberá aclarar la calidad de los datos y la manera en la que han sido obtenidos, esto es para disminuir el riesgo de malos entendidos los datos puedan ser duplicados por cualquier otro investigador (INACAL 2019). Para una mejor determinación de los datos que se van a recopilar con fines más didácticos se representa en la **Figura 3**, se deberá incluir las siguientes medidas:

- Elaboración de diagramas de flujos de procesos no específicos que permita la descripción de todos los procesos unitarios a modelar.
- Establecer una lista que detalle las unidades a utilizar.
- Explicar que técnicas de recopilación de datos se utilizará y el cálculo que será necesario para todos los datos.

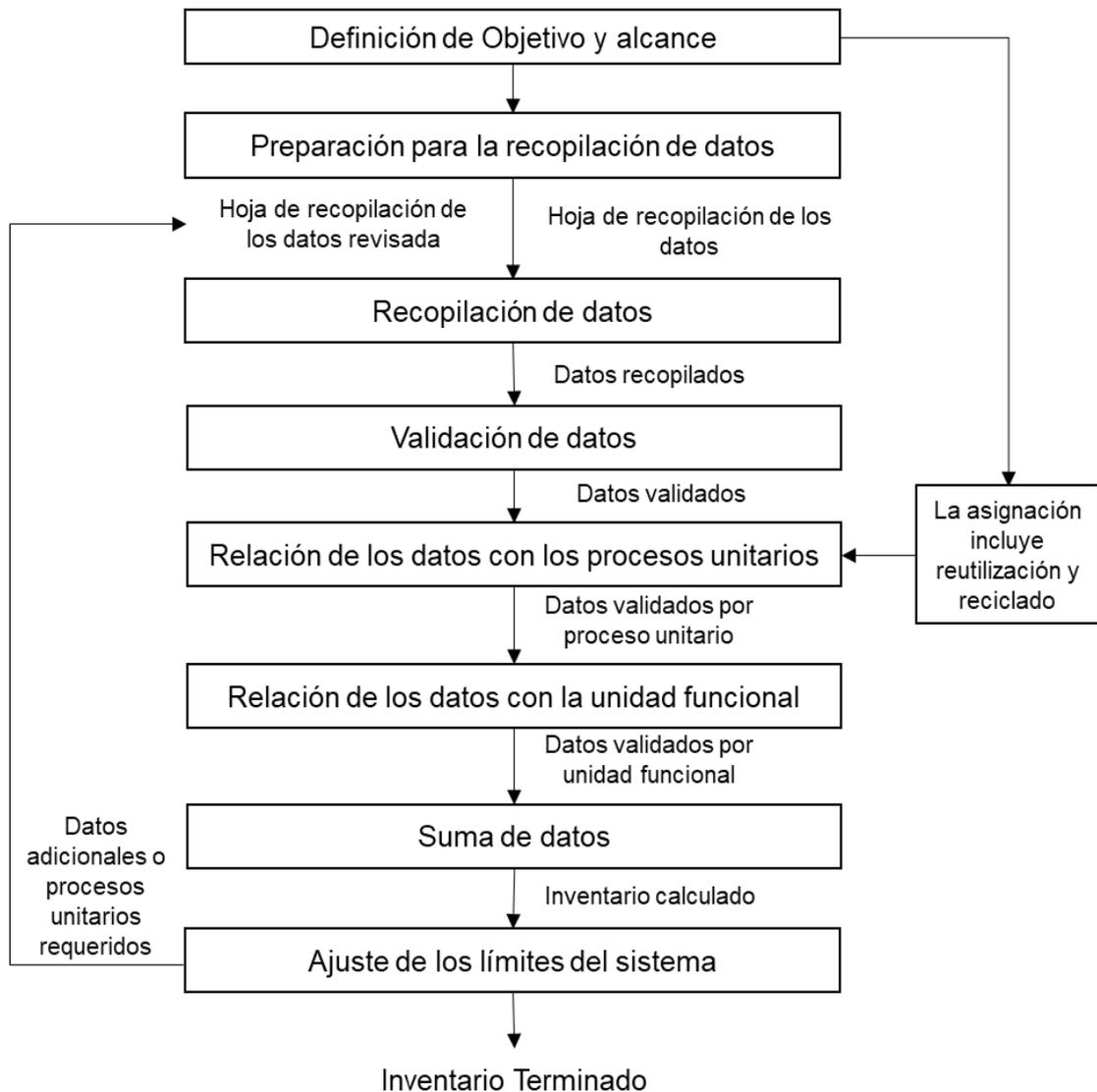


Figura 3. Inventario de Ciclo de Vida. Tomada de NTP ISO14044:2019 por INACAL 2019

Fase 3. Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida

La Evaluación de Ciclo de Vida es diferente a las herramientas de evaluación de impacto ambiental, ya que cuenta con un enfoque relativo basándose en la unidad funcional, debido a que utiliza la información recopilada mediante otras técnicas. Por ello se debe tomar en cuenta los elementos obligatorios y opcionales como se muestra en la **Tabla 2**, que ayudarán en un mejor análisis de estudio.

Tabla 2. Elementos obligatorios y opcionales del EICV

Elementos obligatorios de la EICV	Elementos opcionales de la EICV
Selección de categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos de caracterización	Normalización, cálculo de la magnitud de los resultados de indicadores de categoría en relación con la información de referencia
Asignación de resultados del ICV a las categorías de impacto seleccionadas (clasificación)	Agrupación, organización y posible clasificación de categorías de impacto
Cálculo de los resultados de indicadores de categoría (caracterización)	Ponderación, conversión y posible suma de los resultados del indicador a través de categorías de impacto utilizando factores numéricos basados en juicio de valor.
	Análisis de calidad de datos, mejor comprensión de la fiabilidad en la recopilación del indicador y del perfil

Nota: EICV=Evaluación del inventario del ciclo de vida. Tomado de (INACAL 2019)

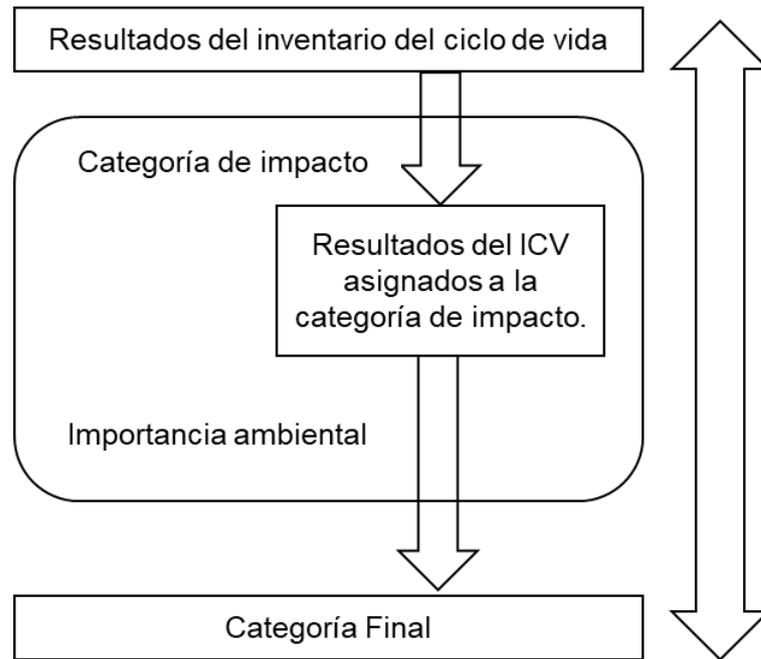


Figura 4. Concepto de indicadores de categoría. Tomada de (INACAL 2019).

Método de evaluación de impacto ambiental ReCiPe 2016: Según las categorías de impacto ambiental

El método de ReCiPe 2016, es una recopilación de factores de caracterización de impacto ambiental en función a elementos contaminantes representativos. Este método se ha ido actualizando eventualmente no solo a escala europea, sino también a escala mundial, incluyendo impactos del uso de agua, cambio climático y otros. Además, presenta un número de categorías de impacto en función a los factores de caracterización a través de punto medio y punto final, este método no es necesariamente el mejor al comparar con otros, pero es el más representativos (Huijbregts et al. 2016).

En la Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida (EICV) es la fase donde se cuantifica las categorías de impacto que se utilizarán en el estudio del ACV (Huijbregts et al. 2016).

En la **Figura 5**, se muestra un diagrama de las categorías de impacto donde se ve la relación que hay desde el nivel de punto medio con ocho categorías de impacto inicial, hasta el nivel de punto final que solo cuenta con dos categorías de impacto final y como estos dos niveles se relaciona con las vías de daño a la salud y ecosistema. Además, se ha adaptado con fines de la investigación y no se considera las vías de daño.

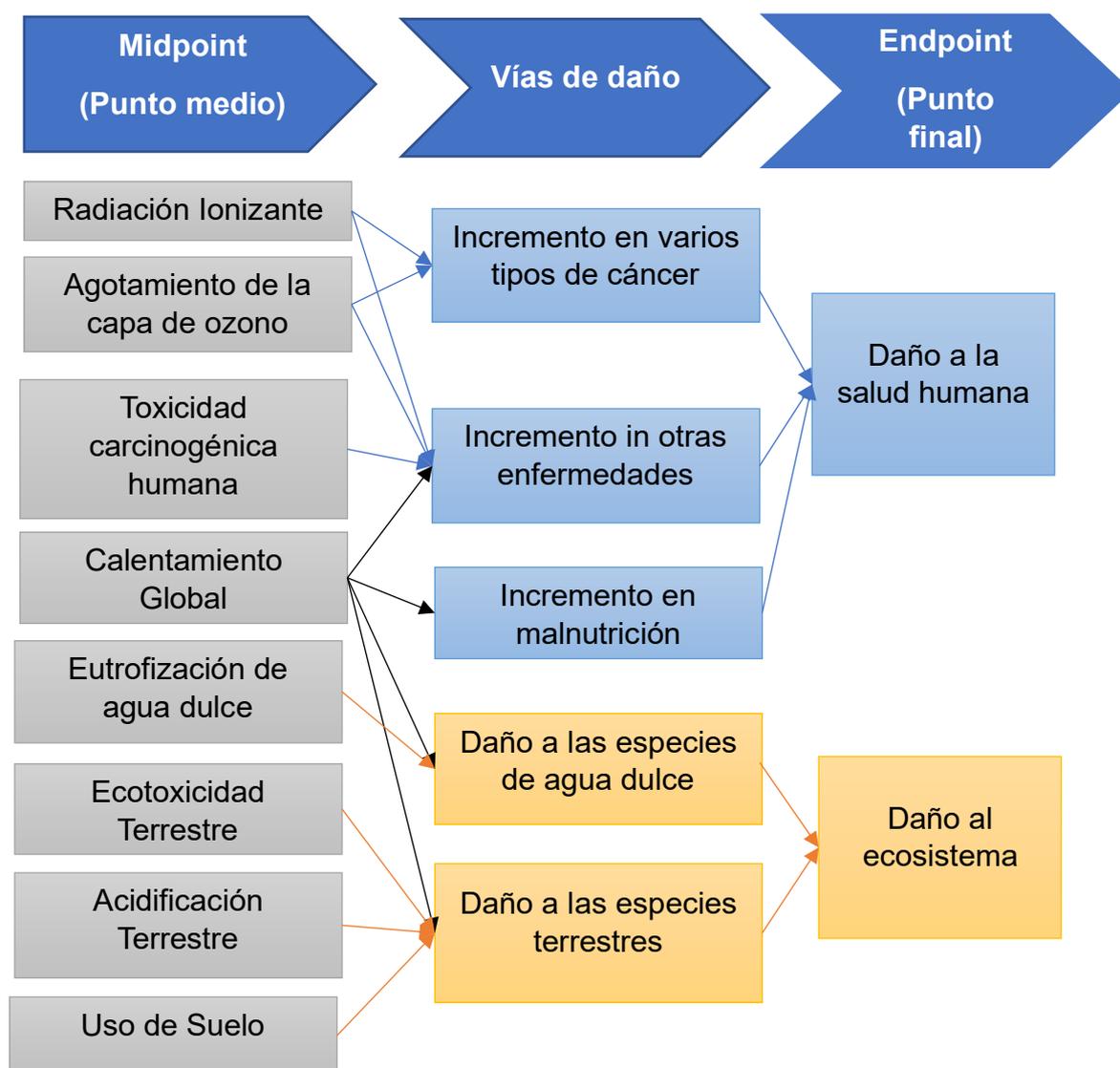


Figura 5. Categorías de impacto en base al método de ReCiPe 2016. Tomado de (Huijbregts et al. 2016) y adaptado al caso de estudio.

Se procederá a describir las categorías de impacto de punto medio por el método de ReCiPe 2016:

- Acidificación terrestre

Una categoría de impacto resaltante es la acidificación terrestre, ya que es consecuencia de deposiciones atmosféricas de contaminantes emitidos, como es el caso del dióxido de azufre (SO_2) y otros, y con un depósito que puede reducir el pH de la solución de suelo (Roy et al. 2014). Esta categoría de impacto se representa en kg SO_2 equivalentes (Huijbregts et al. 2016).

- Agotamiento de ozono estratosférico

El potencial de agotamiento de ozono estratosférico que es la disminución del ozono estratosférico en un horizonte de tiempo. Expresado en unidades de kg CFC-11 equivalentes, donde se utilizó como factor de caracterización de impacto el punto medio (WMO 2010).

- Calentamiento Global

El potencial de Calentamiento Global es un nivel de punto medio que es seleccionado para el cambio climático, es un factor ampliamente empleado para cuantificar los impactos generados por los Gases de Efecto invernadero (GEI) y se expresa en kg CO_2 equivalente (Joos et al. 2013; Huijbregts et al. 2016; Stocker et al. 2013).

- Ecotoxicidad terrestre

Para el análisis de la categoría de impacto de punto medio es expresado en kg 1,4-DCB (Diclorobenceno) equivalentes que se emplean como factor de caracterización (Huijbregts et al. 2016). Además, en la ecotoxicidad terrestre se deben analizar las sustancias emitidas que se dieron en el ciclo de vida, ya que son los que generaran impactos en los ecosistemas, principalmente en el suelo. (Haye, Slaveykova y Payet 2007) porque en el ambiente terrestre habitan diversos organismos que pueden ser afectados por la ecotoxicidad (Carter y Kinney 2018).

- Eutrofización de agua dulce

La eutrofización de agua dulce es producido por la descarga de nutrientes al suelo o a las masas de agua que por consiguiente aumentan los niveles normales de nutrientes de fósforo y nitrógeno, lo cual produce una secuencia de impactos ecológicos produciendo un aumento de los niveles de nutrientes en los cuerpos de agua dulce lo cual por consecuencia aumentan la absorción de estos nutrientes por especies autótrofos como cianobacterias y alga, y especies heterótrofas como peces e invertebrados(Huijbregts et al. 2016).

Para poder determinar el cálculo del impacto (Helmes et al. 2012) estableció un nuevo modelo de “half degree grid resolution” [resolución media de cuadrícula de medio grado] donde obtuvo como resultado factores de caracterización que determinan en función de fósforo (P) y fosfato (PO_4^{-3}) la cantidad de fósforo equivalente vertido al cuerpo de agua dulce.

- Radicación ionizante

La emisión resultante es el radionucleido, el cual se analiza como un factor de caracterización de punto medio por medio del potencial de radiación ionizante, que se expresa como Cobalt-60 equivalente en otros términos kBq Co-60 equivalentes (Huijbregts et al. 2016).

- Toxicidad cancerígena humana

La resultante de toxicidad humana tiene como efectos cancerígenos, lo que se interpreta como una alteración de la enfermedad en un horizonte de tiempo debido a la asimilación de la sustancia. Este factor de caracterización se expresa mediante kg 1,4-DBC equivalentes (Huijbregts et al. 2016; Rosenbaum et al. 2008).

- Uso de suelo

Se deriva de la disminución de especies que es causada por un tipo de uso de tierra específico (entre ellos pueden ser para la agricultura, silvicultura y otros)(Elshout et al. 2014; de Baan, Alkemade y Koellner 2013). Además, está

perdida se evalúa con información de especies del lugar de habitad con las de estudio en las coberturas terrestres, esto conlleva a asumir que se debe dar una recuperación pasiva del hábitat(Curran, Hellweg y Beck 2014).

En la **Tabla 3**, se detalla un resumen de las ocho categorías de impacto a nivel de punto medio de la base de ReCiPe 2016, que según fuentes de estudio son las que cuentan con mayor respaldo científico(Huijbregts et al. 2016). Además, de ser empleados en el manejo de los residuos sólidos los cuales se aplica el Análisis de ciclo de vida y son los valores que se tiene como resultados y para su consecuente interpretación.

Tabla 3. *Categorías de Impacto según metodología ReCiPe, Midpoint*

ítems	Categoría de Impacto	Unidad
1	Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq
2	Agotamiento de la capa de ozono	kg CFC-11 eq
3	Calentamiento Global	kg CO ₂ eq
4	Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DCB eq
5	Eutrofización de agua dulce	kg P eq
6	Radiación ionizante	kBq Co-60 eq
7	Toxicidad carcinogénica humana	kg 1,4-DCB eq
8	Uso de suelo	m ² a crop eq

Nota: CO₂:Dióxido de Carbono; CFC: clorofluorocarbono; SO₂:Dióxido de azufre; DCB: diclorobenceno; P: Fósforo; Co: Cobalto. Tomado y adaptado al estudio (Huijbregts et al. 2016).

Fase 4: Interpretación de Ciclo de Vida

La fase de interpretación de Ciclo de Vida del estudio de ACV cuenta con varios elementos en su análisis, ya que no es la fase consecutiva a la fase 3 sino más bien, abarca también las primeras fases y que cada vez que se analiza una fase también debe ser interpretada para una consistente información:

- Identificación de los asuntos significativos en base a los resultados de las fases del ICV y la EICV.

- Evaluación que considera las verificaciones de análisis de integridad, sensibilidad y coherencia.
- Conclusiones, limitaciones y recomendaciones

Como se aprecia en la **Figura 6**, se tiene un diagrama enfocado en el análisis de ciclo de Vida donde resalta la interpretación y de donde se toma en cuenta los asuntos significativos de estudio, además que se realizan pruebas como el análisis de sensibilidad más conocida como la prueba de Montecarlo, ya que esta información se puede obtener con los softwares de estudio.

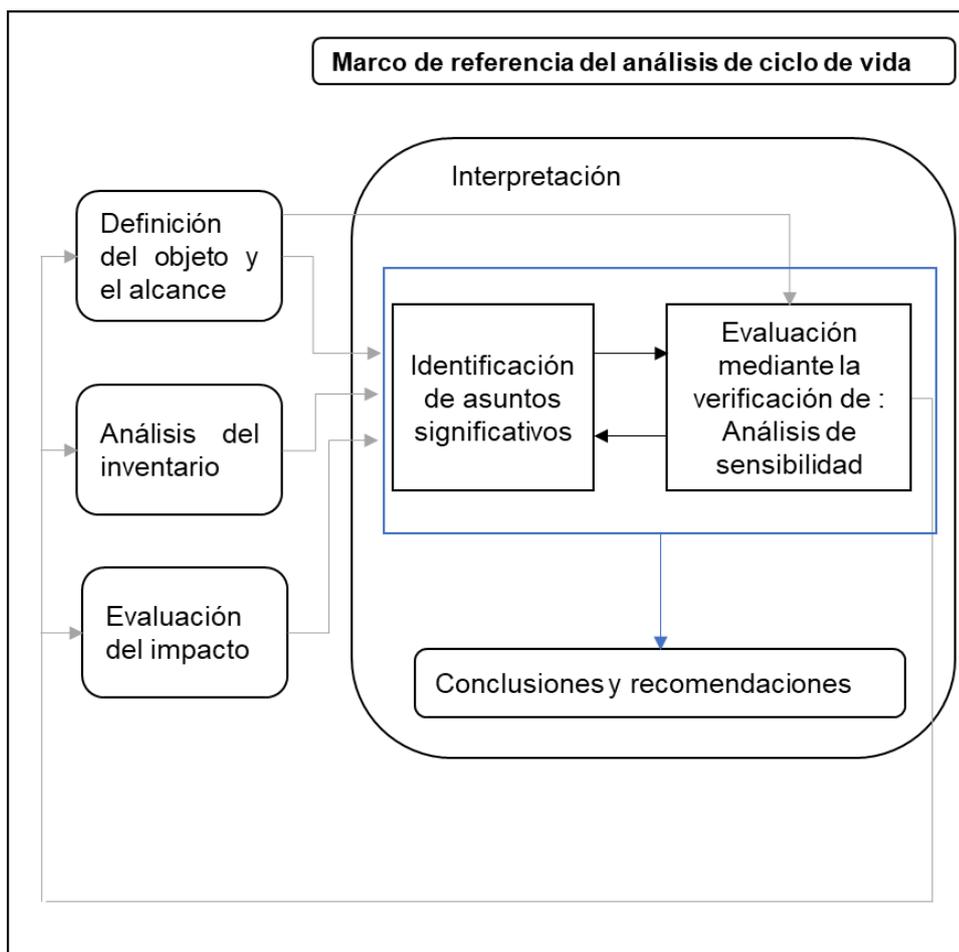


Figura 6. Marco de referencia del Análisis del Ciclo de Vida – Interpretación de resultados, por (INACAL 2019)

2.3.2. Normativa ambiental

Establecer criterios orientados al mejoramiento de la compilación, búsqueda y conocimiento de las normas vigentes, teniendo como regla de trabajo la afirmación de una racionalidad sistémica que rompa con los sesgos y la especialización normativa(MINAM 2010).

- Constitución Política del Perú – 1993

En el artículo 2, establece entre los derechos esenciales de la persona humana, el derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de la vida. El marco general de la política ambiental en el Perú se rige por el artículo 67, en el cual el Estado determina la política nacional ambiental y promueve el uso sostenible de sus recursos naturales(Orihuela Paredes 2018).

- Ley General de Salud (Ley N° 26842-1997)

Se reconoce la responsabilidad del Estado frente a la protección de la salud ambiental. Los artículos 99, 104 y 107 tratan sobre los desechos y la responsabilidad de las personas naturales o jurídicas de no efectuar descargas de residuos o sustancias contaminantes al agua, el aire o al suelo(Orihuela Paredes 2018).

- Ley Orgánica de las Municipalidades (Ley N° 27972-2003)

Prescribe que una de las funciones de las Municipalidades Distritales es proveer el servicio de limpieza pública determinando las áreas de acumulación de desechos, rellenos sanitarios y el aprovechamiento industrial de desperdicios(Orihuela Paredes 2018). Señala que las Municipalidades Provinciales tienen como función regular y controlar el proceso de disposición final de desechos sólidos en el ámbito de su jurisdicción. Para ello tienen la potestad de administrar y reglamentar directamente o por concesión el servicio de limpieza pública y tratamiento de los residuos sólidos, cuando por razón económica sea más eficiente centralizar el servicio a nivel provincial.

- Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (Ley N° 27446-2001)

Tiene por finalidad la creación del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA), como un sistema único y coordinado de identificación, prevención, supervisión, control y corrección anticipada de los impactos ambientales negativos derivados de las acciones humanas expresadas por medio del proyecto de inversión. En su artículo 5, inciso b, establece la protección de la calidad ambiental, tanto del aire, del agua, del suelo, como la incidencia que puedan producir el ruido y los residuos sólidos, líquidos (Orihuela Paredes 2018).

- Ley General del Ambiente (Ley N° 28611-2005)

Establece los principios y normas básicas para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, así como el cumplimiento del deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país.

En el artículo 67 establecen entre otras responsabilidades que las autoridades públicas de nivel nacional, sectorial, regional y local deben priorizar medidas de saneamiento básico que incluyan la construcción y administración de infraestructura apropiada para la gestión y manejo de los residuos sólidos en las zonas urbanas y rurales.

En el artículo 119 establece que la responsabilidad de la gestión de los residuos sólidos de origen doméstico, comercial o que siendo de origen distinto presenten características similares a aquellos, son de los gobiernos locales (Orihuela Paredes 2018).

- Reglamento del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (D.S. N° 019-2009-MINAM)

Tiene por objeto lograr la efectiva identificación, prevención, supervisión, control y corrección anticipada de los impactos ambientales negativos derivados de las acciones humanas expresadas por medio de proyectos de inversión, así como de políticas, planes y programas públicos, a través del establecimiento del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental.

- Decreto Legislativo N° 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos

La finalidad de propender hacia la maximización constante de la eficiencia en el uso de los materiales y asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos económica, sanitaria y ambientalmente adecuada, con sujeción a las obligaciones, principios y lineamientos de este Decreto Legislativo.

En el Artículo 2, la gestión integral de los residuos sólidos en el país tiene como primera finalidad la prevención o minimización de la generación de residuos sólidos en origen, frente a cualquier otra alternativa.

En el Artículo 5, establece principios como la economía circular, ya que para la creación de valor no se limita al consumo definitivo de recursos, considera todo el ciclo de vida de los bienes.

- Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM

Tiene como objeto reglamentar el Decreto Legislativo N° 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, a fin de asegurar la maximización constante de la eficiencia en el uso de materiales, y regular la gestión y manejo de residuos sólidos, que comprende la minimización de la generación de residuos sólidos en la fuente, la valorización material y energética de los residuos sólidos, la adecuada disposición final de los mismos y la sostenibilidad de los servicios de limpieza pública(MINAM 2017).

- NTP-ISO 14044:2019

Esta Norma Técnica Peruana establece los principios y el marco de referencia para el análisis del ciclo de vida (ACV). Los siguientes documentos citados son indispensables para la aplicación de esta Norma Técnica Peruana. Para, las referencias fechadas, solo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha, se aplica la última edición del documento citado (incluyendo cualquier modificación). ISO 14040:2006 Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia (INACAL 2019).

- La ley de Gestión Integral de Residuos sólidos N°1278

Las normas vinculadas a la valorización se efectuarán de manera coordinada con las autoridades sectoriales competentes. En el Artículo 49, detalla que se deben seguir las Metas de valorización, dadas por el MINAM establece metas anuales para la valorización de residuos municipales como la Meta 3, las cuales se sustentan en el sistema de recolección selectiva para su posterior comercialización y/o recuperación, reutilización o reciclaje. El cumplimiento de las metas es verificado por el MINAM. (MINAM 2016a).

Adicionalmente, se da una lista de acuerdos internacionales de los cuales el Perú fue parte y también configuran el marco normativo de la gestión de residuos sólidos. (Orihuela Paredes 2018).

- Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible – 2002
- Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible Río +20 –2012.
- Convenio de Minamata – 2013
- Plataforma de Acción Beijing + 20
- Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)
- Evaluación de desempeño ambiental del Perú realizado por la OCDE y CEPAL – 2016.

2.4. Definición de términos básicos

2.4.1. Residuos sólidos

El residuo sólido es cualquier objeto, material, sustancia o elemento resultante del consumo o uso de un bien o servicio, del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención u obligación de desprenderse, para ser manejados priorizando la valorización de los residuos y en último caso, su disposición final (MINAM 2017).

2.4.2. Residuos sólidos municipales

Los residuos del ámbito de la gestión municipal o residuos municipales están conformados por los residuos domiciliarios y los provenientes del barrido y limpieza de espacios públicos, incluyendo las playas, actividades comerciales y otras actividades urbanas no domiciliarias cuyos residuos se pueden asimilar a los servicios de limpieza pública, en todo el ámbito de su jurisdicción (MINAM 2017).

2.4.3. Análisis del ciclo de vida (ACV)

Recopilación y evaluación de las entradas, resultados y los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto durante su ciclo de vida (INACAL 2019).

2.4.4. Análisis del inventario de ciclo de vida (ICV)

Fase de evaluación del ciclo de vida que implica la recopilación y cuantificación de las entradas y resultados de un sistema producto durante su ciclo de vida (INACAL 2019).

2.4.5. Evaluación del impacto de ciclo de vida (EICV)

Fase de evaluación del ciclo de vida dirigida a comprender y evaluar la magnitud y cuán significativos son los impactos ambientales potenciales del sistema de un producto a lo largo de su ciclo de vida (INACAL 2019).

2.4.6. Interpretación del EICV

La fase de interpretación de un estudio del ACV o de un estudio comprende varios elementos: Identificación de los asuntos significativos basados en los resultados de las fases del ICV y la EICV de un ACV. Luego una evaluación que considera las verificaciones de los análisis integridad, sensibilidad y coherencia; y por ultimo las conclusiones, limitaciones y recomendaciones (INACAL 2019).

2.4.7. Categoría de impacto ambiental

Clase que representa asuntos ambientales de interés a la cual se pueden asignar los resultados del análisis del inventario del ciclo de vida (INACAL 2019).

2.4.8. Límite del sistema

Conjunto de criterios que especifican cuáles de los procesos unitarios son parte de un sistema producto (INACAL 2019).

2.4.9. Relleno sanitario

Instalación destinada a la disposición sanitaria y ambientalmente segura de los residuos en los residuos municipales a superficie o bajo tierra, basados en los principios y métodos de la ingeniería sanitaria y ambiental(MINAM 2016a).

2.4.1. Recolección y transporte

Los servicios de manejo de residuos sólidos integran la recogida de residuos y el transporte a un punto de recogida, el transporte desde un punto de recogida o estación de transferencia a un tratamiento o disposición final (kaza et al. 2018).

2.4.2. Valorización

Cualquier operación cuyo objetivo sea que el residuo, uno o varios de los materiales que lo componen, sea reaprovechado y sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales o recursos en los procesos productivos. La valorización puede ser material o energética(MINAM 2016a).

2.4.3. Reciclaje

Toda actividad que permite reaprovechar un residuo mediante un proceso de transformación material para cumplir su fin inicial u otros fines(MINAM 2016a).

2.4.4. Compostaje:

Es un proceso para el aprovechamiento de residuos orgánicos municipales deben valorizar, prioritariamente, los residuos orgánicos provenientes del mantenimiento de áreas verdes y mercados municipales, así como, de ser factible, los residuos orgánicos de origen domiciliario(MINAM 2016a).

2.4.5. Disposición final

Procesos u operaciones para tratar y disponer en un lugar los residuos como último proceso de su manejo en forma permanente, sanitaria y ambientalmente segura(MINAM 2016a).

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

Hipótesis general:

- El Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos del distrito de Bellavista, permite ser cuantificado en términos de impactos ambientales, 2021.

Hipótesis específica:

- La etapa de recolección y transporte en el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales permite ser cuantificado en términos de impactos ambientales, 2021.
- La etapa de valorización en el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales permite ser cuantificado en términos de impactos ambientales, 2021.
- La etapa de disposición final en el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales permite ser cuantificado en términos de impactos ambientales, 2021.

3.1.1. Operacionalización de variable

Variable:

- Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales

El Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales se define conceptual y operacionalmente en la **Tabla 4**, como lo siguiente:

Tabla 4. Definición conceptual y operacional de la variable

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Índice	Metodología
Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales	Herramienta utilizada para cuantificar los beneficios del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales con enfoque de Análisis de Ciclo de Vida; el cual permite cuantificar en términos de impactos ambientales, evaluando posibles mejoras ambientales relacionadas con procesos y parámetros específicos (Ferronato et al., 2021; Turner et al., 2016)	Herramienta que permite cuantificar los impactos ambientales de todo el sistema de Manejo de los Residuos Sólidos Municipales para cada una de sus etapas operativas.	Etapa de recolección y transporte	Distancia recorrida	TM Residuos Sólido Municipal * Km recorrido	Método: - Hipotético deductivo
			Etapa de valorización	Cantidad de residuos sólidos valorizados	TM Residuos valorizados	Técnica: - Análisis documental, - Análisis de Ciclo de Vida (NTP-ISO 14044:2019)
			Etapa de disposición final	Cantidad de residuos sólidos dispuestos	TM Residuos Sólidos Municipal dispuesto	Instrumento: - Ficha de recolección de datos - Software Open LCA

Nota: TM:Tonelada Métrica y Km:Kilómetros

IV.METODOLOGÍA DEL PROYECTO

4.1. Diseño metodológico

Tipo de investigación:

Esta investigación se desarrolla según el **nivel descriptivo**, con un enfoque **cuantitativo**, detallándose la relevancia de las propiedades, características de los procesos u otro fenómeno de análisis (Hernández Sampieri et al. 2014). La investigación tiene un **propósito aplicado** donde se adquieren los conocimientos que se emplean y está vinculado porque depende de resultados (Supo, Hugo y Caverro 2014), además, para conocer la realidad actual y plantear soluciones factibles. Por ello, esta investigación busca estudiar el impacto ambiental del manejo de los residuos sólidos municipales mediante la aplicación de la metodología del Análisis de ciclo de vida (ACV).

Diseño de investigación:

Debido a su naturaleza del diseño, es una investigación **no experimental**, ya que no se alterarán las variables ni se crearán escenarios alternativos; además, según la clasificación de diseño mencionada es **transeccional-descriptivo**, ya que describe las variables y analiza su incidencia e interrelación en un determinado tiempo en una población (Hernández Sampieri et al. 2014). Es por ello que el Análisis de Ciclo de Vida permite realizar un análisis a partir de los flujos de entradas, salidas y emisiones al ambiente, es decir, cargas ambientales (Cremiato et al. 2018); permitiendo cuantificar el impacto ambiental que pueda generar en cada proceso operativo de los Residuos Sólidos Municipales. Y siendo de carácter **retrospectivo**, ya que el estudio es realizado para el año 2021.

4.2. Método de investigación

Se desarrolló el método **hipotético deductivo**. Ya que, a partir de casos particulares se determina un problema en el cual corresponde a un proceso inductivo encontrando los rasgos comunes en un grupo definido (Rodríguez Jiménez y Pérez Jacinto 2017). (Valderrama Mendoza 2015) cita a Bisquerra año 1998, el cual menciona que como referencia en el marco teórico se formula la hipótesis por un proceso deductivo; siendo un ciclo completo de inducción/deducción a lo que se llama Hipotético deductivo.

Teniendo en claro el método a realizar, se procede a detallar las fases de la aplicación del Análisis de Ciclo de Vida según la NTP-ISO 14044:2019.

4.2.1 Fases de la metodología del Análisis de Ciclo de Vida

A. Fase 1: Fase de definición del objetivo y el alcance

Se analizó la primera fase del Análisis de Ciclo de Vida de los residuos sólidos

- **Objetivo:**

El objetivo principal refiere al objetivo general de la tesis el cual pretende cuantificar el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de Residuos municipales en términos de impacto ambiental en sus diferentes etapas de manejo operacional.

- **Alcance:**

Contiene los límites del estudio y el nivel de detalle con un análisis profundo dependiendo el objetivo de estudio del ACV (INACAL 2019). Debido a la naturaleza del estudio, se escogerán las etapas de Manejo de los Residuos Sólidos Municipales en el distrito de Bellavista.

- Límites del estudio:

Los límites de estudio empleados están ligados a los procesos unitarios se deben incluir dentro del ACV; en este caso se aplica en el manejo operativo de los residuos sólidos porque puede resultar extensivo por su escala Global (INACAL 2019), ya que no se está considerando todas las operaciones que se dan en el manejo de los residuos sólidos por falta de información lo cual nos genera una limitante considerable para no incluirlos al estudio, debido a que no afectará al objetivo de estudio. Según las dimensiones de la variable de estudio, el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos se han establecido los siguientes límites desde la puerta a la tumba, es decir, desde el inicio del proceso de la Recolección y transporte hasta la última etapa de manejo de los residuos sólidos municipales, siendo lo último mencionado sobre disposición final; de este modo no se está empleando el límite cuna a tumba por la carencia en información desde recursos de materia prima de los residuos o la infraestructura propia de las plantas de residuos sólidos municipales, que es lo más recomendado en estudios ACV. En resumen, la presente investigación se divide en las siguientes etapas operacionales según las etapas de procesos operacionales del MRSM:

- Etapa 1: Recolección y transporte
- Etapa 2: Valorización
- Etapa 3: Disposición Final

En la **Figura 7**, se detalla el modelamiento del alcance del estudio de investigación en las etapas de Manejo de los residuos sólidos, ya que cada proceso unitario cuenta con flujos de ingreso y salida de recursos y emisiones, los cuales es necesario detallar para emplearlo en el inventario del ACV según las limitaciones de estudio y el criterio de corte.

- **Asignación:**

Los procesos de asignación son estimaciones obtenidas a partir de proporcionalidades obtenidas respecto al total de un elemento. Estas pueden ser:

- Asignación en masa
- Asignación económica
- Asignación energética

- **Suposiciones:**

Las suposiciones son necesarias para poder complementar el inventario del ACV, se han definido estos límites del sistema debido a que se ha tomado un criterio de corte según su importancia ambiental, ya que al momento de su generación del residuo, este cuenta con una carga ambiental cero, lo que supone que no es importante analizar las interrelaciones aguas arribas, más bien si no, se tratará de aliviar los impactos que puedan generar las fracciones de los residuos con objetivo de prevención (Laurent, Bakas, et al. 2014), evaluando así el impacto ambiental mediante la método ReCiPe para cumplimiento del objetivo y del alcance de la presente investigación.

- **Unidad Funcional:**

La unidad Funcional (UF), es la cantidad representativa del límite de estudio; es decir, el ACV del MRSM cuenta con una unidad funcional para el año 2021, el cual utiliza la sumatoria de la cantidad de residuos sólidos generados en el distrito de Bellavista.

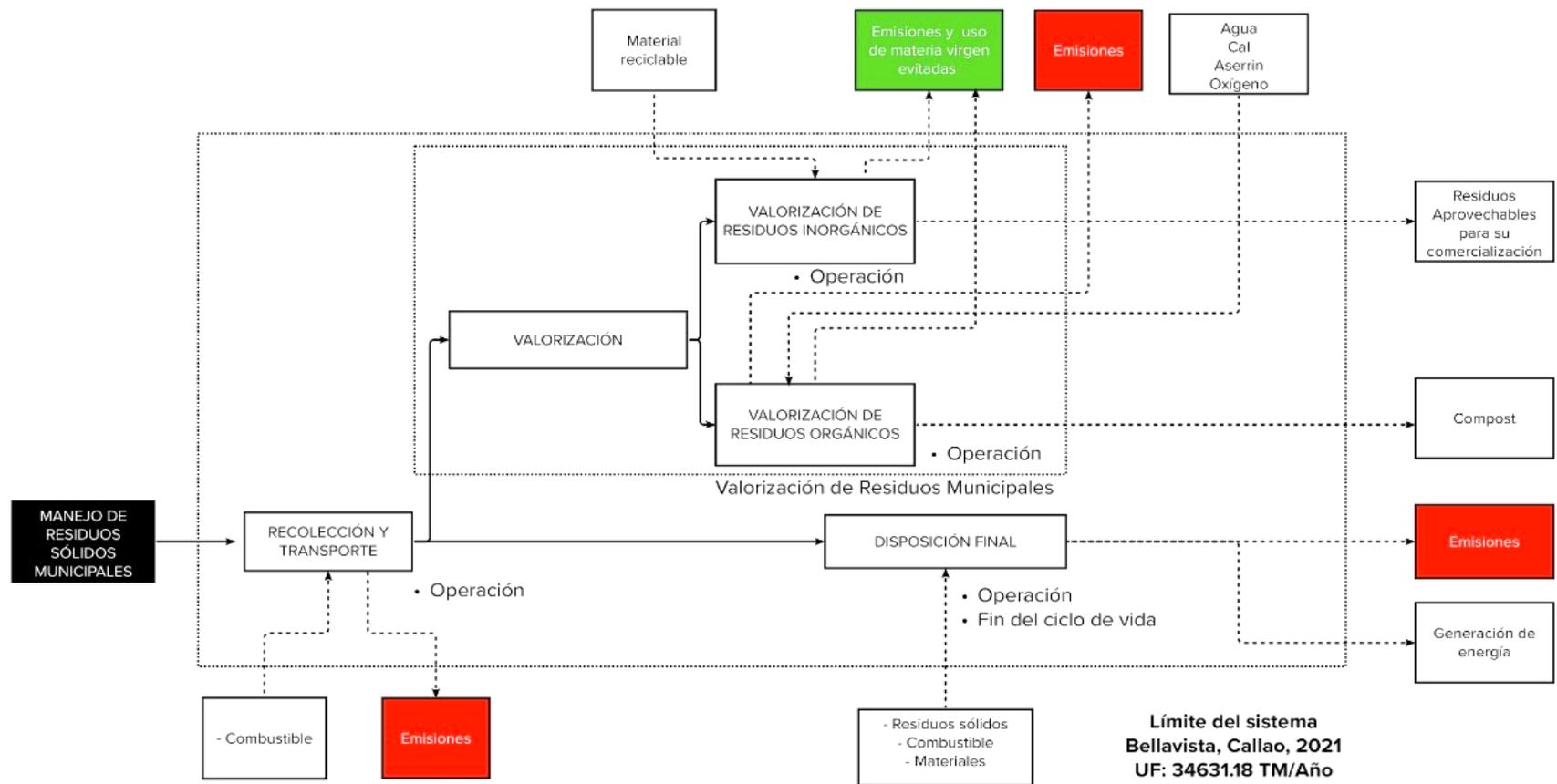


Figura 7. Diagrama de flujo para el alcance del ACV.

Nota. Los límites del estudio se representan con la línea negra discontinua

B. Fase 2: Fase del análisis del inventario del ciclo de vida (ICV)

Se realizó el análisis del inventario del ciclo de vida (ICV) de los flujos de entradas y salidas de las etapas de manejo de residuos sólidos municipales. Para la determinación del Inventario del ciclo de vida se estableció en un diagrama todos los procesos unitarios que están bajo los límites del sistema, el cual permitió analizar los flujos de referencia y posibles impactos al ambiente.

Una vez determinado los flujos referenciales, se enlistó por cada proceso unitario los datos de entrada y salida; entre los datos a recolectar fueron masa, energía y emisiones al ambiente. Esta recolección de datos se realizó siguiendo la técnica de Análisis documental con información propia de la municipalidad de Bellavista que se encuentra en páginas web oficiales como SIGERSOL, repositorios de bases de datos, portal de transparencia de la municipalidad de Bellavista e investigaciones académicas que brindan información secundaria siendo información pública que permiten ser analizadas en el proceso del ACV del MRSM. Para ello se utilizó la ficha de recolección de datos tal como se muestra en los anexos con las fichas:

- **Ficha 1:** Ficha de recolección de datos: Identificación de Procesos Unitarios
- **Ficha 2:** Ficha de recolección de datos: Inventario de materiales y equipos
- **Ficha 3** Ficha de recolección de datos: Recopilación de datos de gestión operacional

Una vez obtenido los datos se verificó la calidad de estos mediante pruebas iterativas para comprobar su consistencia y poder continuar con la siguiente fase. En esta fase se determinaron los flujos de referencia que tiene cada etapa de manejo de RSM, los cuales contienen cargas ambientales que determinan el resultado de evaluación de impacto ambiental.

C. Fase 3: Fase de evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV)

Luego, se realizó la evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV), ya que se tuvo como objetivo de la evaluación de impacto ambiental proporcionar información adicional para ayudar a evaluar los resultados del inventario del ciclo de vida (ICV) del manejo de los residuos sólidos municipales con el fin de comprender mejor su importancia ambiental.

Según lo descrito anteriormente, la EICV se tuvieron elementos obligatorios que permite establecer los criterios básicos para poder establecer los impactos como se menciona en la **Tabla 2**. Los datos del ICV deberán ser obtenidos para poder caracterizarlo y posteriormente obtener los resultados de impacto ambiental.

Esta caracterización de residuos está establecida bajo el método de ReCiPe 2016 y que además establece los factores de caracterización para cada categoría de impacto que es procesado por el software OpenLCA, que es un de código abierto que puede ser utilizado de manera gratuita.

Para ello se emplearon ocho categorías de impacto ambiental que es producido durante el manejo de los residuos municipales en el periodo del año 2021. Cada categoría de impacto ambiental está basándose en la método de ReCiPe que comprende diversos métodos y estudios realizados por cada tipo de impacto ambiental que es representado en unidades de referencia a nivel de Punto medio como se presenta en la **Tabla 3** de este modo se usó el midpoint para obtener resultados más confiables y exactos, en comparación a las categorías de impacto de punto final que añade incertidumbres y suposiciones agregadas, pero permiten ser entendidos de manera más sencilla. De este modo uno de los propósitos de la evaluación del ciclo de vida (LCA) es convertir las cantidades de sustancias emitidas durante el ciclo de vida de un producto (o servicio) en impactos potenciales en los ecosistemas(Haye, Slaveykova y Payet 2007).

En la **Figura 8**. Se detalla la intervención de la metodología como herramienta del ACV.

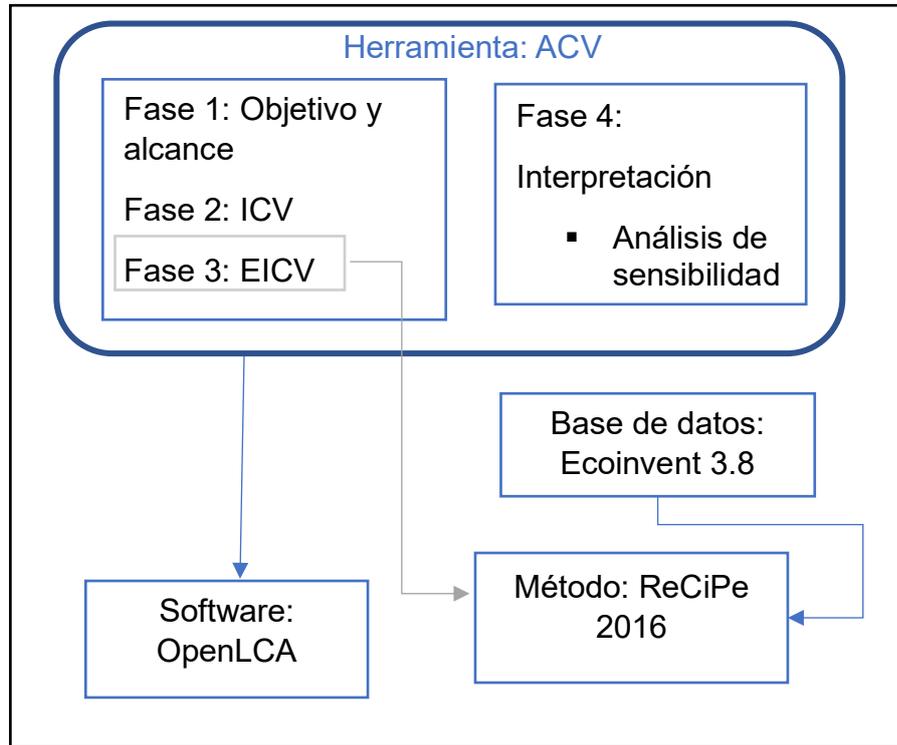


Figura 8. Metodología del ACV aplicada en el EICV.

Nota: Adaptado de(Catalan Campillo 2019).

D. Fase 4: Fase de interpretación

Como última fase del análisis de ciclo de vida se realiza la interpretación, la cual ayuda a dar respuestas a las conclusiones y recomendaciones. De este modo se realizó la interpretación del análisis de ciclo de vida, en función a los objetivos y alcances establecidos en el sistema, por lo que se analizó las gráficas obtenidas para cada una de las etapas de manejo y de todo el sistema. Finalmente, estos datos podrán ser divulgados y utilizados como sustento para toma de decisiones y desarrollo de nuevas políticas en el Manejo de Residuos Sólidos; no obstante, al momento de la interpretación los resultados fueron sometidos a pruebas de análisis de sensibilidad para poder comprobar su robustez de los datos obtenidos.

En la **Figura 9**, se analiza la intervención de las fases del ACV en el manejo del RSM según el objeto de estudio.

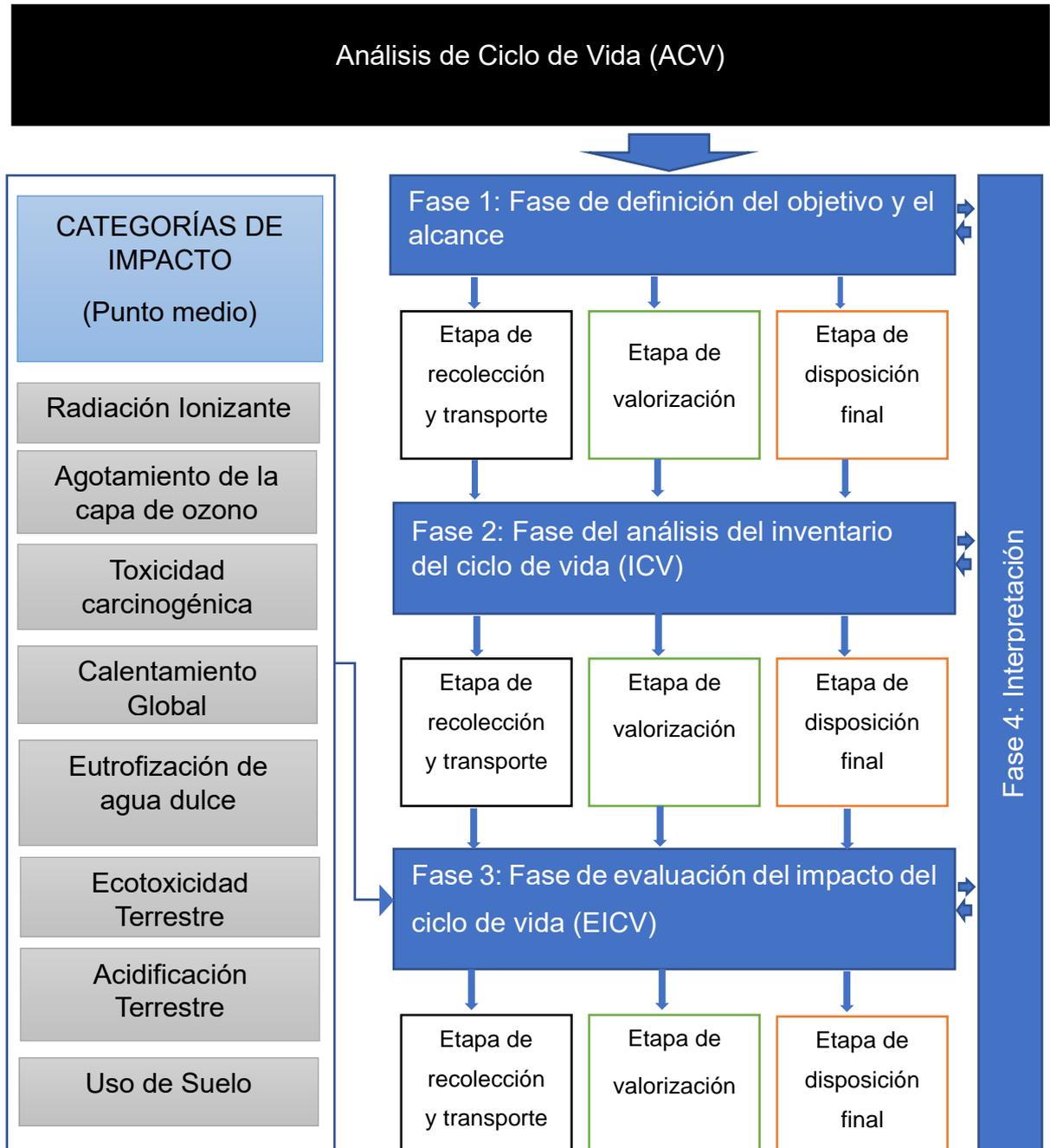


Figura 9. Estructura del ACV en el MRS.

Nota: Adaptado de(Catalan Campillo 2019).

4.3. Población y muestra

Población: Es un conjunto que tiene características comunes teniendo en cuenta los elementos que lo conforman, el lugar que corresponden y el período de tiempo en que se realiza la investigación (Valderrama Mendoza 2015).

- La población son todos los residuos sólidos generados en el año 2021 por un total de 34,361.18 TM de Residuos Sólidos Municipales.

Muestra: es un subgrupo de la población del cual se recolectan los datos y se delimita según el alcance de la investigación (Hernández Sampieri et al. 2014).

- La muestra es igual a la población de estudio de 34,361.18 TM de Residuos Sólidos Municipales al año 2021; ya que se requiere la totalidad de los residuos que se generaron en el distrito de Bellavista.

4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado

4.4.1. Lugar de estudio

El territorio del distrito de Bellavista cuenta con una extensión de 4.56 Km^2 , siendo el tercer distrito en importancia por su extensión en la Provincia del Callao dentro del cual se ha dividido en cuatro sectores con veintisiete urbanizaciones (Distrito Bellavista 2018).

El distrito de Bellavista se encuentra ubicado en una longitud Oeste 77°07'37"; latitud Sur 12°03'31" y una altura promedio de 34 m.s.n.m. en el territorio.

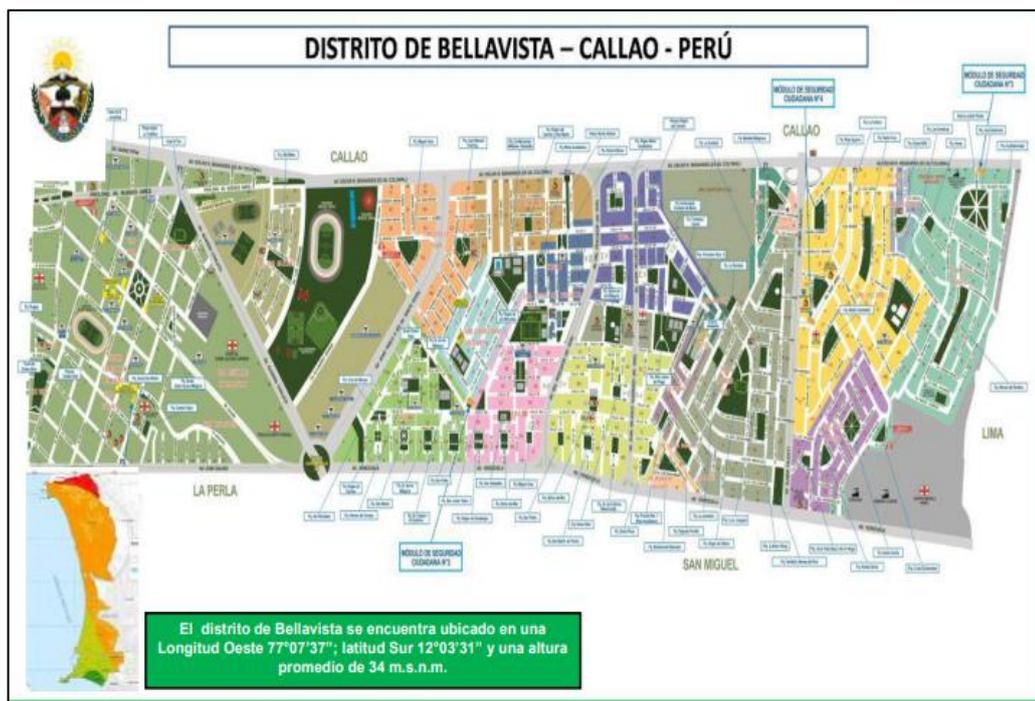


Figura 10. Mapa distrital de Bellavista. Tomada de “Plan Local de Seguridad Ciudadana Convivencia Social”, por (Distrito Bellavista, 2018).

4.4.2. Periodo desarrollado

El desarrollo de este estudio corresponde al manejo de los residuos sólidos municipales de la municipalidad distrital de Bellavista, comprendido desde el mes de enero a diciembre del año 2021.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

4.5.1. Técnicas para la recolección de la información:

Las técnicas de recolección de datos que se utilizaron fueron las siguientes:

- a. Análisis documental: Se utilizó todo el material disponible para la obtención de la información respecto a la investigación.
- b. Análisis de Ciclo de Vida: Se utilizó la técnica de análisis de ciclo de vida (ACV) basándose en la NTP- ISO 14044:2019, donde se analizó el manejo de los residuos sólidos del distrito de Bellavista.

4.5.2. Instrumentos para la recolección de información

Como instrumentos para la recolección de información se tiene:

- Fichas de datos: Estas estuvieron debidamente codificadas de acuerdo a la identificación del proceso unitario en el manejo de los residuos sólidos, el inventario de entradas y salidas de flujos; información de equipos; entre otros. Los modelos se encuentran en los ANEXOS II, III y IV, donde se obtuvieron la información adicional de los documentos obtenidos y que fueron necesarios para introducirlo al software y ayude a modelar mejor.
- El software OpenLCA, de origen alemán, con una interfaz donde se puede programar los procesos unitarios, tiene la ventaja de ser un software de código abierto con respecto a otros, estando en un constante actualización y soporte por GreenDelta. Además, genera una facilidad económica al investigador en utilizar el software de ACV por ser gratuita, a pesar de no ser la única opción de software especializado en el MRSM abre paso a obtener resultados confiables (Lopes Silva et al. 2017; 2019), previos análisis de los datos y resultados. Entre los softwares más empleados para residuos sólidos en su aplicación del ACV encontramos a Easeteach, SimaPro, Gabi, Umberto y OpenLCA que destaca.

4.6. Análisis y procesamiento de datos

4.6.1. Análisis de datos

a) Inventario del ACV de entradas y salidas

Según lo mencionado anteriormente en la descripción metodológica, los datos recolectados de análisis de ciclo de vida podrán ser datos cuantitativos de valores únicos, resultado de procesos inferenciales que cuenten, ya sea con varianza, desviación estándar, o estimaciones propias que se tendrían que asumir para cálculo del ACV sin afectar la calidad de los resultados y con base en análisis de sensibilidad.

4.6.2. Procesamiento de datos

Una vez recopilados los datos recopilados en el ICV se procedió a introducirlos en el software de código abierto OpenLCA en base a los procesos unitarios modelados en el ACV del MRSM el cual contiene información de las bases de datos de repositorios internacionales para su estimación de la EICV (Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida) que es calculado mediante la metodología del software ReCiPe 2016 – de punto intermedio (H).

Una vez obtenido estos resultados por cada categoría se procede a realizar el Análisis de Monte Carlo que consta en un conjunto finito de iteraciones que varían según el grado de incertidumbre que almacenen los datos introducidos. Posterior a ello se exporta en una tabla Excel para proceder con su análisis descriptivo e Inferencial.

Tabla 5. *Procesamiento de datos descriptivos e inferenciales*

Ítem	Resultados del EICV por Etapas	Estadísticos descriptivos	Estadísticos Inferenciales
1	Etapa de recolección y transporte	- Media - Mediana - Curtosis	- Análisis de sensibilidad (Análisis de Monte Carlos) - Prueba de normalidad Kolmogorov - Smirnof - Prueba paramétrica de T-student
2	Etapa de valorización	- Asimetría	- Prueba no paramétrica de Wilcoxon
3	Etapa de disposición final	- Desviación estándar	

a) Estadísticos descriptivos

Con ayuda del software SPSS se calcularon todos los estadísticos descriptivos el cual caracteriza y define a las dimensiones de la variable de estudio, la media, mediana, asimetría, curtosis y desviación estándar.

b) Estadístico inferencial

Análisis de sensibilidad

El proceso de análisis de sensibilidad es mayormente conocido como Análisis de Montecarlo que a través de alteración de los datos calcula como varía el resultado final y que tan propenso se encuentra al suponer error en su estimación. La fórmula de análisis de sensibilidad, el **SR** se utilizó para cuantificar el efecto de un cambio de un solo parámetro en los resultados del LCA.(Ferronato et al. 2021):

$$\bullet \quad SR = \frac{\frac{\text{Resultado}}{\text{Parámetro}}}{\frac{\text{Resultado inicial}}{\text{Parámetro inicial}}} \quad (1)$$

Tal como se muestra en la siguiente ecuación, permitió calcular la variación del resultado respecto al parámetro u objeto de estudio la sensibilidad que cuenta el dato que es sometido a esta prueba iterativa que se realizó mediante software estadísticos que incluye el OpenLCA, ya que le permite recalculer entre la base de datos introducidas y las utilizadas inherentemente al utilizar la base de datos de Ecoinvent v3.8 para calcular el análisis de sensibilidad con base en la incertidumbre que cuenta cada uno de estos valores. Para la presente investigación se realizará el análisis de sensibilidad según la desviación estándar obtenida de la corrida de 300 iteraciones de la prueba de Monte Carlos.

Se calculó de la siguiente manera:

$$SR = \frac{\sigma}{x} \quad (2)$$

Una vez realizada las 300 iteraciones de Monte Carlo del cálculo de la cuantificación del Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de Residuos Sólidos Municipales y las desviaciones obtenidas producto del cálculo de estas, se

obtiene una dispersión de los datos respecto al resultado final el cual comprendió a la incertidumbre de las bases de datos utilizadas.

Posterior a ello se deberá realizar el procesamiento de estos datos a través de pruebas de normalidad para poder definir el tipo de distribución paramétrica o no paramétrica que correspondan estos resultados y poder comprobar la hipótesis.

Prueba de normalidad de Kolmogorov – Smirnoft

Dicha prueba se analizó a través del software SPSS mediante el análisis de 299 obtenidos de las 300 iteraciones realizadas en la prueba de Monte Carlos o Simulación de Monte Carlos. Se obtuvieron diferentes tipos de distribuciones que corresponden a distribuciones normales y no normales; de la cual se debe contrastar las hipótesis nula o alternativa:

- Ho: Los datos analizados siguen a una distribución normal, sig. >0.05
- Ha: Los datos analizados no siguen a una distribución normal, sig. < 0.05

Una vez comprobado ello se procederá a realizar las pruebas paramétricas o no paramétricas según su tipo de distribución.

Prueba paramétrica de T-Student

Se procedió a analizar los datos que correspondan a una distribución normal; para lo cual dicha prueba compara la media aritmética hipotética con la media aritmética del estudio. Para ello se realizó los análisis de estadísticos descriptivos previamente para poder introducir en el software SPSS; donde en el programa se estableció con un nivel de confianza del 95% las siguientes hipótesis a contrastar:

- Ho: $\bar{x} = 0$; La media es igual a 0, no existe diferencias entre la media de la muestra y la media hipotética.

- $H_a: \bar{x} = 0$; La media es diferente de 0, existe diferencias entre la media de la muestra y la media hipotética.

Prueba no paramétrica de Wilcoxon

La prueba de Wilcoxon se aplica para distribuciones no normales que permite comparar la mediana teórica con la mediana de estudio. Se utilizó el software SPSS en donde se estableció un nivel de confianza del 95%, en el cual se debe contrastar las siguientes hipótesis:

- $H_0: \tilde{x} = 0$; La mediana es igual a 0, no existe diferencias entre la mediana de la muestra y la mediana hipotética
- $H_a: \tilde{x} \neq 0$; La mediana es diferente de 0, existe diferencias entre la mediana de la muestra y la mediana hipotética

c) Modelamiento del ACV del MRSM mediante el software OpenLCA 1.11

Cálculo de la Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida- Software OpenLCA 1.11

A efectos de un mayor entendimiento del procedimiento que se ha realizado, se ha intentado resumir mediante las siguientes figuras el procesamiento de los datos del Análisis de Ciclo de Vida.

Antes de haber iniciado cualquier tipo de modelamiento, el Inventario de Ciclo de Vida debe estar muy claro y definido todos los campos de actuación para poder introducir al sistema. El primer paso consiste en la creación de un flujo de referencia el cual almacena el tipo de dato que es si es un producto, flujo elemental o un residuo de un proceso (**ver Figura 11**).

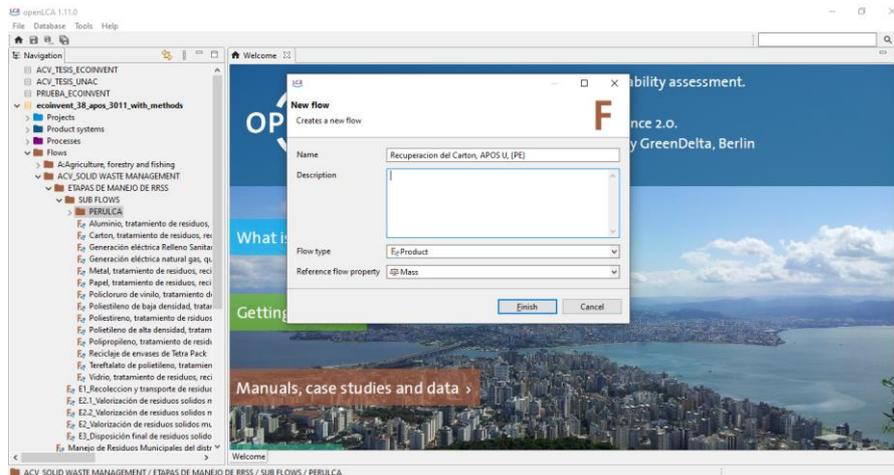


Figura 11. Creación de flujo de productos. Tomada de la Interfaz del software OpenLCA.

Posterior de haber definido los flujos de referencia, debemos introducir el contenido esencial que otorga los recursos consumidos, productos obtenidos, residuos y emisiones al ambiente. Como se observa en la **Figura 12**, al momento de introducir un producto o un residuo se especificó de que proceso provienen para que el software pueda tomar como referencia todos los procesos anteriores que han acontecido para su generación de un producto.

Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Rev...	Uncertainty	Avoided p...	Provider	Data quali...	Descript...
Fa Occupation, urban, green area	Resource/land	0.00913	m2*a		lognorma...			(1; 4; 3; 5; ...	This we...
Fa Oxygen	Resource/in air	0.43771	kg		lognorma...			(3; 4; 3; 5; ...	Calcula...
Fa quicklime, milled, packed	239:Manufacture of r...	0.00050	kg		none		U - RoW		
Fa sawdust, wet, measured as d...	161:Sawmilling and pl...	0.05000	kg						market for quicklime, milled, packed quicklime, milled, packed APOS, U - RE...
Fa tap water	360:Water collection, L...	0.20000	kg						market for quicklime, milled, packed quicklime, milled, packed APOS, U - RE...
Fa Ammonia	Emission to air/high p...	3.19572E-5	kg		lognorma...			(2; 4; 3; 5; ...	Consen...
Fa Carbon dioxide, non-fossil	Emission to air/high p...	0.65749	kg		lognorma...			(3; 4; 3; 5; ...	Calcula...
Fa compost	382:Waste treatmen...	1.00000	kg	0.03000	none				compo...
Fa Dinitrogen monoxide	Emission to air/high p...	3.22600E-5	kg		lognorma...			(2; 4; 3; 5; ...	Consen...
Fa Methane, non-fossil	Emission to air/high p...	7.62324E-5	kg		lognorma...			(1; 4; 3; 5; ...	Experi...
Fa NMVOC, non-methane volat...	Emission to air/high p...	3.16314E-5	kg		lognorma...			(1; 4; 3; 5; ...	Experi...
Fa Water	Emission to air/high p...	0.00031	m3		lognorma...			(3; 4; 3; 5; ...	Calcula...

Figura 12. Flujos de referencia de procesos de tratamiento de compostaje a partir de residuos de poda de césped. Tomada de la Interfaz del software OpenLCA.

Una vez que se establecieron todos los flujos de referencia, subprocesos y procesos según las dimensiones de la variable, se realizará el cálculo por cada etapa del MRSM, cabe recalcar que el proceso universal del Manejo de Residuos Sólidos Municipales deberá estar definido en subprocesos definidos como ítems con la misma unidad funcional. Posterior a ello se creó el producto del sistema para finalmente ser calculado mediante la metodología de cálculo de impacto ambiental de ciclo de vida utilizando el método ReCiPe 2016 de punto medio (H). El resultado que se muestra en la **Figura 13** muestra los resultados por categorías de impacto ambiental.

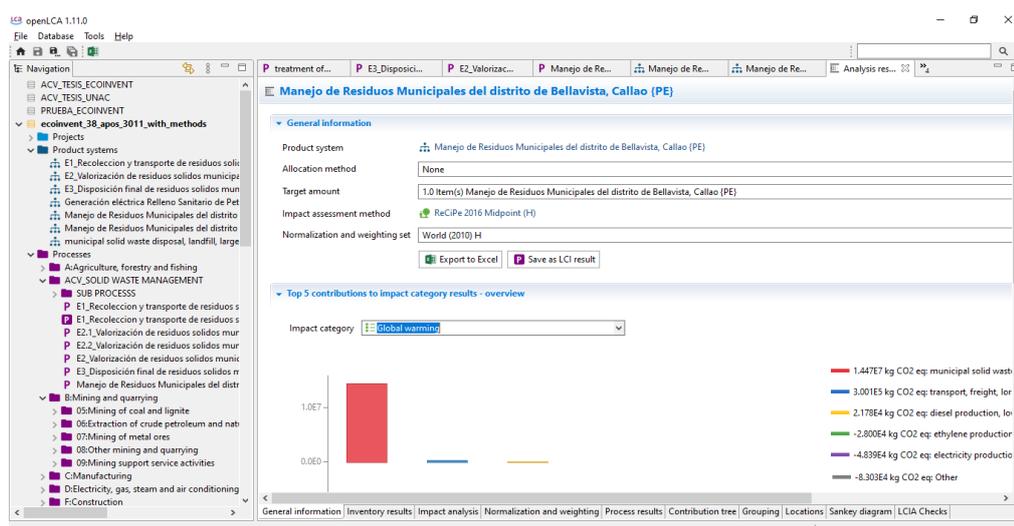


Figura 13. Reporte del cálculo de impacto ambiental a través de la metodología ReCiPe 2016 Midpoint (H) Tomada de la Interfaz del software OpenLCA.

Análisis de sensibilidad – Software OpenLCA 1.11

El análisis de sensibilidad como bien se menciona en el **apartado 4.6.2.** es un proceso iterativo computacional que permite calcular el grado de dispersión que tienen las categorías de impacto ambiental para cada etapa de manejo de los residuos sólidos. Es por ello que al momento de realizar esta prueba debe ser realizada para cada etapa de manejo de los residuos. Finalmente, se procedió a establecer un total de 300 iteraciones donde se obtuvieron 299 resultados que finalmente son exportados a un Excel para su posterior procesamiento en SPSS (ver **Figura 14.**).

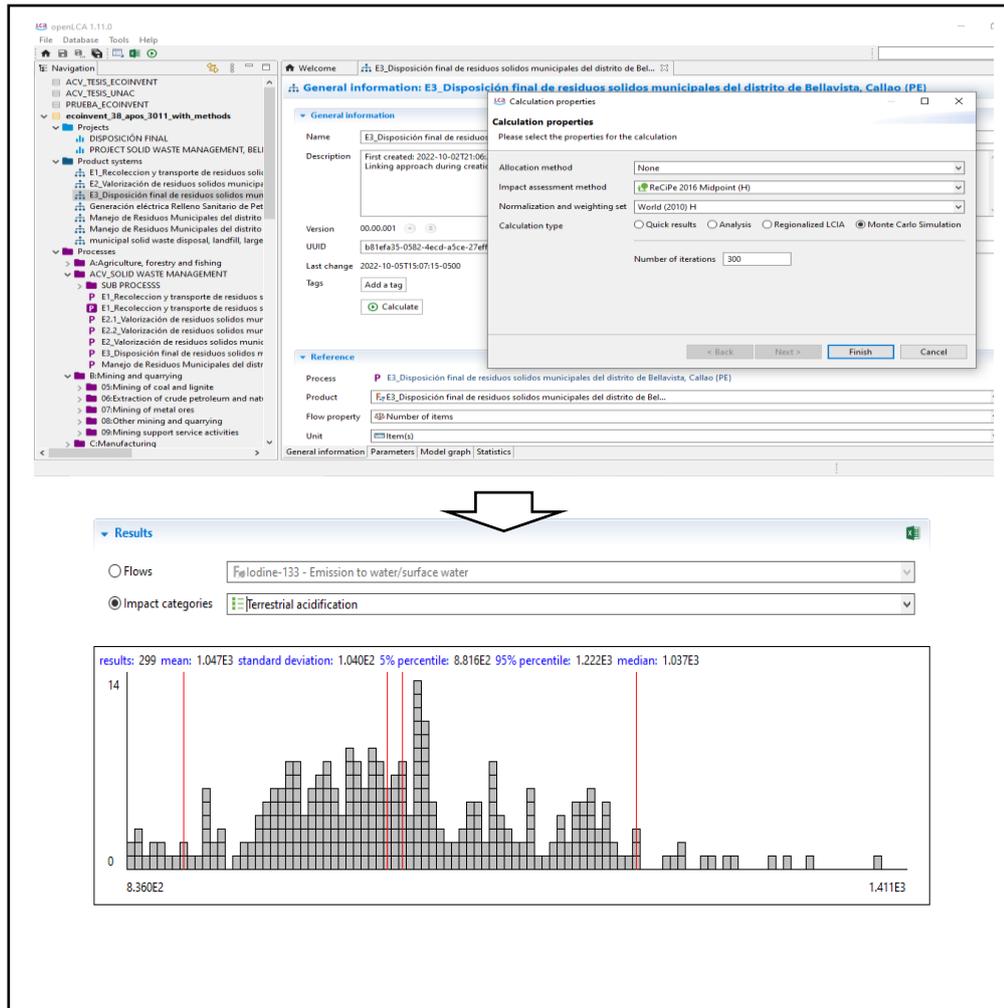


Figura 14. Procesamiento de cálculo de la prueba de Monte Carlos con 300 iteraciones. Tomada de la Interfaz del software OpenLCA.

4.7. Aspectos Éticos en Investigación

La presente investigación se ejecutó respetando la autoría intelectual de las personas que han aportado a este documento. Además, respetando los principios éticos en la difusión de los resultados, de la misma manera, se siguen todos los parámetros y lineamientos dictados por la Universidad Nacional del Callao, en cuanto al desarrollo de trabajo de investigación y se ha señalado bajo el marco de referencia de la Directiva N° 004-2022-R.

Durante la presente elaboración de la investigación se ha utilizado el software *OpenLCA* que es de carácter Open Source de libre disponibilidad para el desarrollo de la investigación; y a su vez se adquirió la licencia estudiantil de la base de datos de Ecoinvent versión 3.8 en este estudio.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos

Para dar respuesta a cada objetivo en función de la metodología de ACV se hace necesario señalar que tiene cuatro fases en función a la metodología NTP-ISO 14044:2019 e ISO 14040:2006.

- A. Fase 1: Fase de definición del objetivo y el alcance
- B. Fase 2: Fase del análisis del inventario del ciclo de vida (ICV)
- C. Fase 3: Fase de evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV)
- D. Fase 4: Fase de interpretación

Para determinar los resultados se analizó las tres primeras fases del Análisis de Ciclo de Vida y se determinaron para cada una de las etapas operativas. No obstante, la fase 04 de la metodología se desarrolló en el apartado **06. Discusión de resultados**. Esta fase se determina al realizar la interpretación en las tres fases anteriores (Fase1, 2 y 3).

5.1.1. Etapa de recolección y transporte

Fase 1: Definición del objetivo y el alcance

- Objetivo:

El objetivo específico 01 hace referencia a la cuantificación de la etapa de recolección y transporte del Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales en términos de impactos ambientales.

- Alcance:

Para efectos de facilidad de cálculos, en la etapa de recolección y transporte se analizó como un solo proceso unitario que engloba como transporte a los camiones compactadores que recolectan los residuos en las cuatro zonas de Bellavista y son trasladados al relleno sanitario Modelo del Callao. Es decir, tiene un alcance desde la puerta a la tumba.

- Limitantes:

Se tiene como una de las limitantes la disponibilidad de datos con respecto a rutas establecidas, por lo que se han utilizado fuentes secundarias de la municipalidad de Bellavista que han sido obtenidas por transparencia pública y de libre acceso a la entidad. Además, por la poca disponibilidad de los datos de libre acceso se estimó la distancia empleada en la recolección de residuos municipales no aprovechables y aprovechables según el cuadro de calles de rutas de la recolección y transporte de residuos sólidos utilizando el software QGis.

- Suposiciones:

Se consideró que el inicio de ruta de los camiones recolectores inicia y terminan en el frontis del estadio Miguel Grau de la Av. Colonial por las visitas a campo realizadas. Como también se asume la cantidad de 9.2 TM de RSM transportados en cada camión a efectos de cálculo.

- Unidad funcional:

La unidad funcional tomará el valor de la realización del total de generación de residuos sólidos municipales y no por etapa de recolección y transporte.

- UF: 34,631.18 TM de Residuos Sólidos Municipales/ Año

Fase 2: Análisis del inventario del ciclo de vida (ICV)

Se identificó de flujos de referencias para la etapa de recolección y transporte, que es la etapa inicial del manejo de RSM donde se requería poder identificar la cantidad de residuos que traslada un camión recolector a la disposición final que son llevados al relleno sanitario Modelo del Callao de la empresa Petramás, que son realizados en tres turnos horarios donde ni bien se tiene la capacidad óptima recolectada de RSM estos serán dispuestos correctamente.

Por ello, se realizó un análisis para el periodo del año 2021, de más de 2000 datos recolectados como información de traslado a la disposición final de un camión recolector; dato que se interpreta como el total de la población para un periodo anual municipal, dicho análisis se realizó mediante el software SPSS donde se obtuvo los siguientes resultados reflejados en la siguiente tabla para obtener datos relevantes en los flujos del ACV.

Tabla 6. *Estadísticos descriptivos de cantidad de Residuos Sólidos Municipales dispuestos por camión*

Ítem	Descripción	Media		Desviación estándar	Varianza
		Estadístico	Desv. Error		
1	Cantidad de Residuos Sólidos dispuestos (Toneladas Métricas)	9.2109	0.3793	1.91976	3.685

Nota: Análisis en base a los datos recolectados de la Municipalidad de Bellavista, 2021.

Para efectos del modelamiento, el resultado que muestra la **Tabla 6** tiene como resultado una media de 9.2 TM de cantidad de residuos dispuestos, con una desviación estándar de 1.92 TM de Residuos Sólidos como se muestra en el **Gráfico 1**, forma parte de la cantidad en peso que transporta un camión y representa el esfuerzo que este genera al trasladarse cierta distancia representada en km.

Diagrama de la Media y Desviación estandar de la Cantidad de Residuos Sólidos dispuestos por camión recolector, distrito de Bellavista, Callao

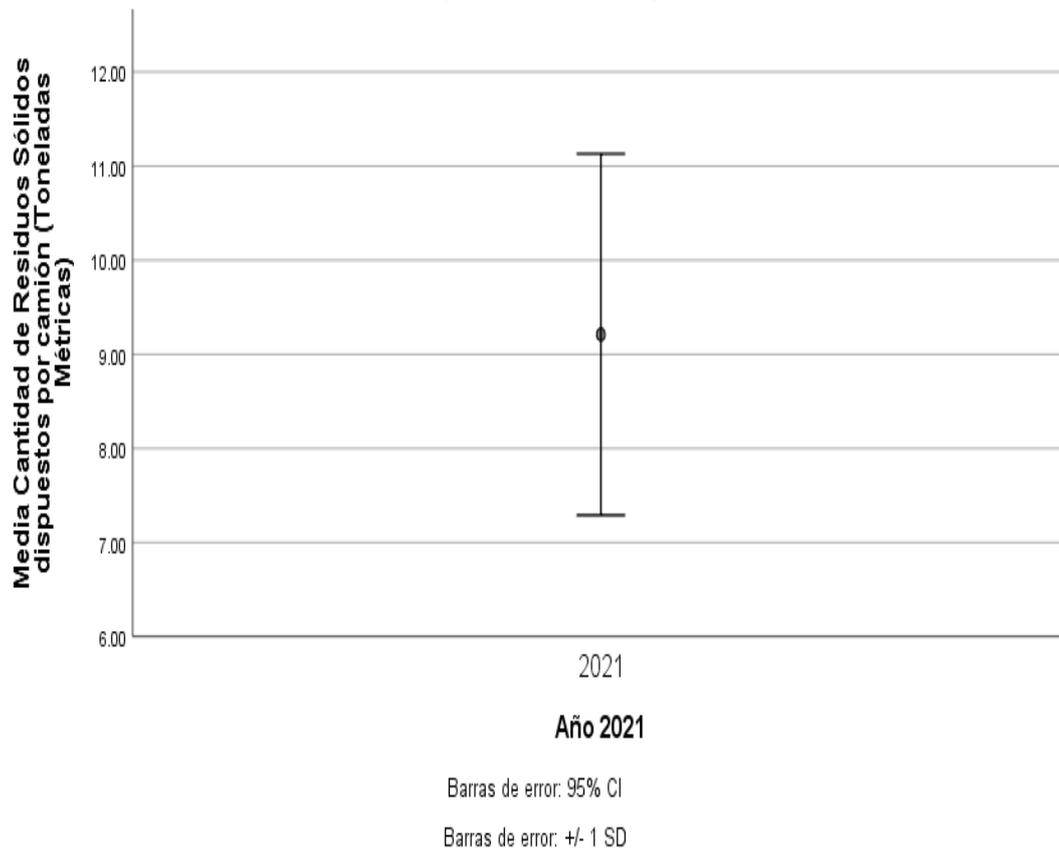


Gráfico 1 Diagrama de la Media y desviación estándar de la cantidad de Residuos Sólidos Municipales dispuesto por un camión recolector, extraído del SPSS.

Como resultado del inventario se tiene la **Tabla 7**, donde se detalla los flujos de referencia para la etapa de Recolección y transporte de residuos sólidos municipales y que ayuda a definir los flujos para esta etapa del manejo operativo para realizar el modelado de inventario en la fase tres.

Tabla 7. Flujo de referencia para la etapa de recolección y transporte de RSM

Ítem	Etapa de recolección y transporte			
	Descripción	Cantidad	Unidad	Fuente
1	Distancia de recolección y transporte a disposición final - recorrido de camiones compactadores	117221	Km/añual	Municipalidad de Bellavista, 2021
2	Distancia de recolección y transporte recorrido de camión grúa	93850.3	Km/añual	Astoquílca, 2022
3	Distancia de transporte de residuos valorizables camión baranda	8640	Km/añual	SIGERSOL, 2021
4	Recolección media diaria de residuos valorizables por camión	3.09	TM/ camión	SIGERSOL, 2021
5	Recolección media diaria de residuos transportados a disposición final por camión	9.21	TM/ camión	Municipalidad de Bellavista, 2021

Nota: TM: Tonelada Métrica, por reporte de Sigersol,2021 & Municipalidad de Bellavista, 2021.

Fase 3: Evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV)

Se procedió a realizar el modelado con el inventario del Ciclo de Vida de flujos de entradas y salidas con ayuda del software OpenLCA. Al realizar el modelado se tiene como resultado a partir de las ocho categorías de impacto que se están analizando en esta etapa de recolección y transporte con el método ReCiPe 2016 y con base de datos de Ecoinvent.

Tabla 8. Resultados de los elementos de categoría de impacto en la etapa de recolección y transporte

Ítem	Descripción de los elementos del flujo
1	Categoría de impacto: Eutrofización de agua dulce
	<p>Impact category: <input type="text" value="freshwater eutrophication"/></p> <ul style="list-style-type: none"> 20.452 kg P eq: treatment of spoil from hard coal mining, in surface landfill spoil fr... 9.359 kg P eq: treatment of spoil from lignite mining, in surface landfill spoil from... 0.985 kg P eq: treatment of basic oxygen furnace slag, residual material landfill bas... 0.846 kg P eq: treatment of sulfidic tailings, from copper mine operation, tailings imp... 0.607 kg P eq: treatment of sulfidic tailings, from copper mine operation, tailings imp... 4.431 kg P eq: Other
2	Categoría de impacto: Calentamiento Global
	<p>Impact category: <input type="text" value="Global warming"/></p> <ul style="list-style-type: none"> 2.962E5 kg CO2 eq: transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO3 transport, freight,... 2.205E4 kg CO2 eq: diesel production, low-sulfur, petroleum refinery operation diesel, lo... 7.405E3 kg CO2 eq: diesel, burned in building machine diesel, burned in building machine ... 7.344E3 kg CO2 eq: heat production, at hard coal industrial furnace 1-10MW heat, district... 5.468E3 kg CO2 eq: synthetic fuel production, from coal, high temperature Fisher-Tropsch op... 1.010E5 kg CO2 eq: Other
3	Categoría de impacto: Toxicidad cancerígena humana
	<p>Impact category: <input type="text" value="Human carcinogenic toxicity"/></p> <ul style="list-style-type: none"> 1.477E4 kg 1,4-DCB: treatment of electric arc furnace slag, residual material landfill ele... 1.873E3 kg 1,4-DCB: treatment of basic oxygen furnace slag, residual material landfill bas... 1.044E3 kg 1,4-DCB: treatment of spoil from hard coal mining, in surface landfill spoil fr... 7.773E2 kg 1,4-DCB: treatment of sludge from steel rolling, residual material landfill slu... 5.804E2 kg 1,4-DCB: treatment of hard coal ash, residual material landfill hard coal ash ... 3.130E3 kg 1,4-DCB: Other
4	Categoría de impacto: Radicación ionizante
	<p>Impact category: <input type="text" value="Ionizing radiation"/></p> <ul style="list-style-type: none"> 4.266E3 kBq Co-60 eq: treatment of tailing, from uranium milling tailing, from uranium milli... 2.793E3 kBq Co-60 eq: treatment of low level radioactive waste, plasma torch incineration lo... 98.162 kBq Co-60 eq: treatment of spent nuclear fuel, reprocessing spent nuclear fuel APO... 49.663 kBq Co-60 eq: uranium mine operation, underground uranium ore, as U APOS, U - RNA 46.881 kBq Co-60 eq: uranium mine operation, underground uranium ore, as U APOS, U - RoW 1.738E2 kBq Co-60 eq: Other

Continua...

Ítem	Descripción de los elementos del flujo
5	<p style="text-align: center;">Categoría de impacto: Uso de suelo</p> <p>Impact category: <input type="text" value="Land use"/></p> <ul style="list-style-type: none"> 1.224E4 m2a crop eq: road construction road APOS, U - RoW 2.163E2 m2a crop eq: onshore petroleum field infrastructure construction onshore petroleum ... 1.174E2 m2a crop eq: hardwood forestry, birch, sustainable forest management wood chips, we... 94.524 m2a crop eq: road construction road APOS, U - CH -1.113E2 m2a crop eq: hard coal mine operation and hard coal preparation hard coal APOS, U... 1.433E3 m2a crop eq: Other
6	<p style="text-align: center;">Categoría de impacto: Agotamiento de ozono estratosférico</p> <p>Impact category: <input type="text" value="Stratospheric ozone depletion"/></p> <ul style="list-style-type: none"> 0.032 kg CFC11 eq: petroleum and gas production, on-shore petroleum APOS, U - RoW 0.030 kg CFC11 eq: petroleum production, onshore petroleum APOS, U - RME 0.023 kg CFC11 eq: transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO3 transport, freight, ... 0.013 kg CFC11 eq: petroleum production, onshore petroleum APOS, U - RU 8.278E-3 kg CFC11 eq: diesel production, low-sulfur, petroleum refinery operation diesel, lo... 0.048 kg CFC11 eq: Other
7	<p style="text-align: center;">Categoría de impacto: Acidificación terrestre</p> <p>Impact category: <input type="text" value="Terrestrial acidification"/></p> <ul style="list-style-type: none"> 8.003E2 kg SO2 eq: transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO3 transport, freight, ... 1.934E2 kg SO2 eq: treatment of waste natural gas, sour, burned in production flare waste... 1.291E2 kg SO2 eq: diesel production, low-sulfur, petroleum refinery operation diesel, lo... 56.247 kg SO2 eq: transport, freight, sea, tanker for petroleum transport, freight, sea, ... 45.582 kg SO2 eq: heat production, at hard coal industrial furnace 1-10MW heat, district... 3.958E2 kg SO2 eq: Other
8	<p style="text-align: center;">Categoría de impacto: Ecotoxicidad terrestre</p> <p>Impact category: <input type="text" value="Terrestrial ecotoxicity"/></p> <ul style="list-style-type: none"> 3.883E6 kg 1,4-DCB: treatment of brake wear emissions, lorry brake wear emissions, lorry ... 1.578E6 kg 1,4-DCB: treatment of brake wear emissions, lorry brake wear emissions, lorry ... 1.341E5 kg 1,4-DCB: diesel production, low-sulfur, petroleum refinery operation diesel, lo... 1.042E5 kg 1,4-DCB: treatment of tyre wear emissions, lorry tyre wear emissions, lorry A... 9.429E4 kg 1,4-DCB: smelting of copper concentrate, sulfide ore copper, anode APOS, U - CN 3.577E5 kg 1,4-DCB: Other

Nota: Detalles de cada categoría de impacto de sus elementos en la etapa de recolección y transporte.

Posteriormente, la **Tabla 8**, indica el resultado por categoría de impacto en una etapa del manejo de los residuos sólidos municipales. Ya que del inventario realizado se tiene como resultado los elementos de flujos más resaltantes en las ocho categorías de impacto estudiadas.

La categoría de impacto más resaltante, de acuerdo con la tabla anterior, es para la categoría de impacto de toxicidad cancerígena humana, aunque estén representadas numéricamente, todas estas categorías de impacto tienen diferentes unidades por su factor de caracterización. Por ello, se aprecia el signo negativo solo en uno de los elementos de flujo, en las categorías de impacto de uso de suelo y agotamiento de ozono estratosférico son casi despreciable, pero no resaltarán en la categoría de impacto final, ya que los demás elementos son positivos, todos los demás flujos tienen elementos con valor positivos, por lo tanto, el resultado tendrá la tendencia total de impacto ambiental positivo en la etapa de recolección y transporte.

En elemento de flujo más destacado es el diésel, puesto que, por ser una etapa de recolección y transporte, se requiere de este elemento para el funcionamiento de los camiones compactadores en todas las rutas que realiza en el distrito de Bellavista según el alcance del estudio.

- **Resultados del ACV en la etapa de recolección y transporte de RSM.**

Se interpreta los valores positivos como datos que causan un impacto perjudicial para las ocho categorías de impacto, pero como las unidades en las que se obtiene son diferentes por sus factores de caracterización, se necesitan normalizar para poder comparar entre las categorías de impacto, al realizar la normalización para la etapa de recolección y transporte, los valores más representativos son para toxicidad cancerígena humana con $2.22 \text{ E}+04 \text{ Kg}$ 1,4-DCB y ecotoxicidad terrestre con $6.15 \text{ E}+06 \text{ kg}$ 1,4-DCB son los valores que se obtienen como resultado en la **Tabla 09**.

Tabla 9. Resultados de impacto ambiental en la etapa de recolección y transporte de RSM

Ítem	Categoría de Impacto Ambiental	Recolección y Transporte	Unidad	Normalizado
1	Eutrofización de agua dulce	3.67 E+01	kg P eq	56.49
2	Calentamiento Global	4.39 E+05	kg CO ₂ eq	55.02
3	Toxicidad Cancerígena humana	2.22 E+04	kg 1,4-DCB	8004.71
4	Radicación ionizante	7.43 E+03	kBq Co-60 eq	15.45
5	Uso de suelo	1.40 E+04	m ² a crop eq	2.27
6	Agotamiento de ozono estratosférico	1.50 E-01	kg CFC-11 eq	2.58
7	acidificación terrestre	1.62 E+03	kg SO ₂ eq	39.54
8	Ecotoxicidad terrestre	6.15 E+06	kg 1,4-DCB	5935.32

Nota: Para fines didácticos se resaltó la letra en negrita los valores más altos.

5.1.2. Etapa de valorización

Fase 1: Definición del objetivo y el alcance

- Objetivo específico 2:

El objetivo específico 02 hace referencia a la cuantificación de la etapa de valorización del Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales en términos de impactos ambientales.

- Alcance:

Para efectos de facilidad de cálculos, la etapa de valorización se analizó como un solo proceso unitario que engloba los subprocesos de reciclaje y

compostaje que se realizan en las cuatro zonas de Bellavista y son trasladados a la planta de valorización y luego comercializados.

- Limitantes:

Se tiene como una de las limitantes la disponibilidad de datos con respecto a rutas establecidas, por lo que se han utilizado fuentes secundarias de la municipalidad de Bellavista obtenidas por transparencia pública y de libre acceso a la entidad. A su vez no ha sido contemplado la infraestructura donde se realiza la valorización de residuos orgánicos e inorgánicos.

- Suposiciones:

Se consideró que la recuperación de materiales reciclables a materias primas está en función a la eficiencia de recuperación de los residuos inorgánicos y orgánicos.

- Unidad funcional

La unidad funcional toma el valor de la generación total del manejo de residuos sólidos municipales, más no por etapa.

- UF:34,631.18 TM de Residuos Sólidos Municipales/ Año

Fase 2: Análisis del inventario del ciclo de vida (ICV)

Durante la etapa de Valorización, se verificó en campo mediante las fichas de recolección de datos y se comprobó los flujos de referencias de los procesos de valorización orgánica e inorgánica.

Para la valorización orgánica (Compost) se verificó que la planta de valorización de residuos orgánicos del distrito de Bellavista cuenta con las condiciones óptimas para su elaboración del residuo valorizable. Está conformado de un total de 9 camas de compostaje, donde cada una de ellas tiene una capacidad de 1.5 TM, que son un total de 13.5 TM de un camión compactador en su mayor capacidad pueda recoger.

Además, Para completar las 9 camas de compostaje, la obtención de compost se obtiene en un periodo de 2 a 3 meses y es generado a partir de

residuos orgánicos producto del mantenimiento y corte de césped de parques y jardines del distrito de Bellavista, el cual durante el periodo 2021 obtuvo según lo reportado en SIGERSOL un total de 73.28 TM/anual, del cual se asume una eficiencia del 33.33% del proceso según literatura para cálculos del ACV.

A su vez la valorización inorgánica(Reciclaje), según se verificó la realización de las actividades de recojo de residuos aprovechables en las 4 zonas del distrito de Bellavista, ya que se cuenta con un cronograma por zonas para la recolección y transporte de los residuos inorgánicos con vecinos afiliados al Programa de Segregación en la Fuente y Recolección Selectiva de Residuos Sólidos y otros comercios dentro de las jurisdicciones, esta etapa del MRSM son realizadas por la Asociación de Tricicleros Unidos Región Callao (ATURCA).

Gráfico 2. Representación gráfica en porcentaje según su tipo de reciclaje.



Nota: PET: tereftalato de polietileno. Fuente: Adaptación del Reporte de SIGERSOL, 2021.

Según SIGERSOL nos da información que se refleja en la **Gráfica 2** de residuos inorgánicos según su tipo de reciclaje en el distrito de Bellavista para el año 2021, obtenidos en la etapa de valorización se refleja que los residuos que de un 100%; el vidrio, cartón y PET forman un 54% del total del residuo valorizable y otros materiales reciclables con un 46% del total.

Tabla 10. *Flujo de referencia para la etapa de valorización de RSM*

Ítem	Etapa de valorización			Fuente
	Descripción	Cantidad	Unidad	
1	Compostaje de residuos de maleza poda y madera	73.28	TM/anual	SIGERSOL, 2021
2	Reciclaje de cartón	100.74	TM/anual	
3	Reciclaje de vidrio	26.89	TM/anual	
4	Reciclaje de papel	42.52	TM/anual	
5	Reciclaje de Polietileno de alta densidad	20.16	TM/anual	
6	Reciclaje de Polietileno de baja densidad	13.03	TM/anual	
7	Reciclaje de Polipropileno	2.79	TM/anual	
8	Reciclaje de Poliestireno	0.61	TM/anual	
9	Reciclaje de policloruro de vinilo	0.27	TM/anual	
10	Reciclaje de Tereftalato de polietileno	32.79	TM/anual	
11	Tetra brik	1.38	TM/anual	
12	Otros	66.34	TM/anual	

Nota: TM: Tonelada Métrica, por Reporte Sigersol,2021.

Como resultado del inventario se tiene la **Tabla 10**, donde se detalla los flujos de referencia para la etapa de valorización de RSM y que ayuda a definir para realizar el modelado en la fase tres.

Fase 3: Evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV)

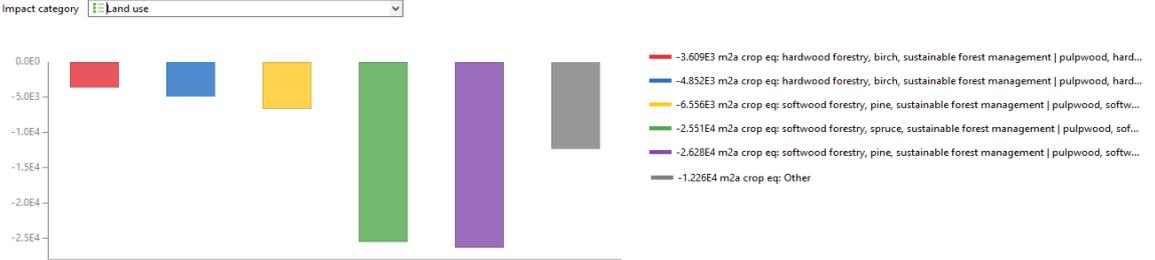
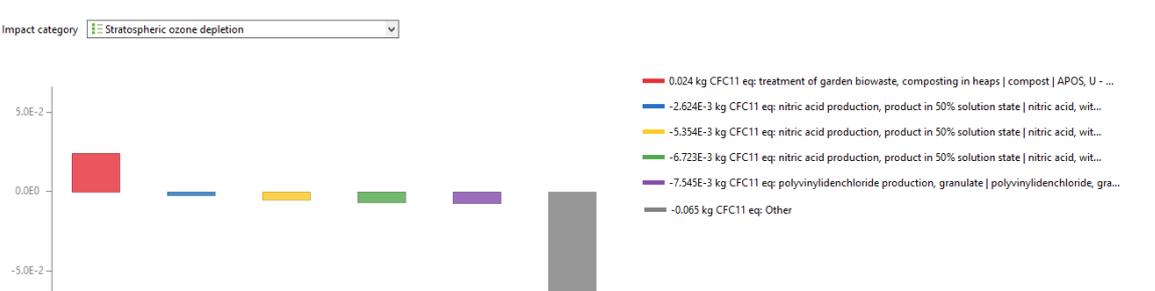
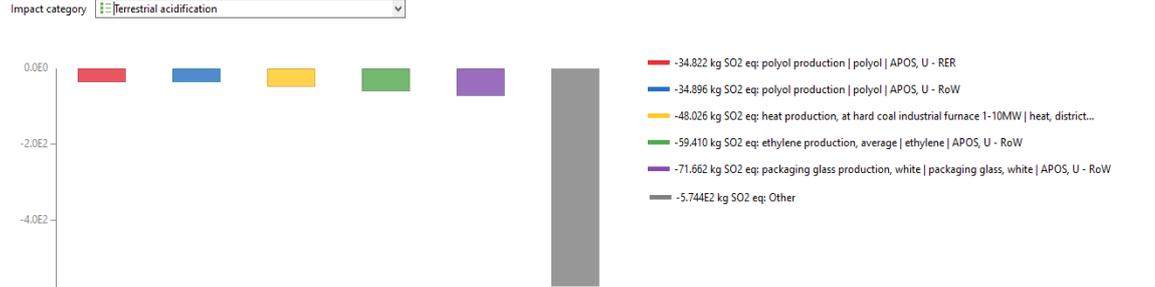
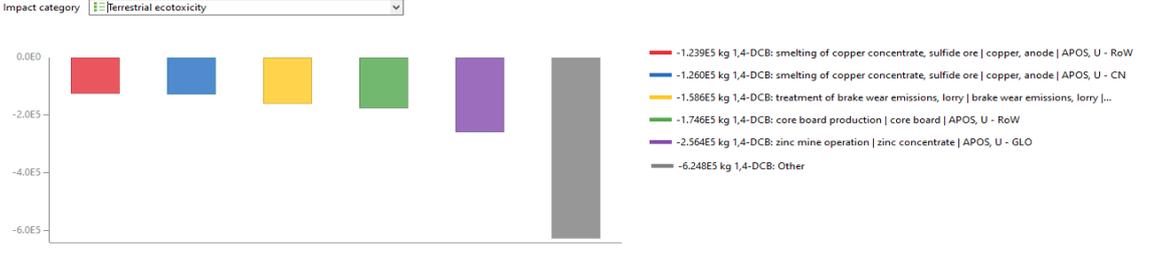
Se procedió a realizar el modelado en base a lo interpretado en el inventario del Ciclo de Vida de los flujos de entradas y salidas con ayuda del software OpenLCA.

Al realizar la Evaluación de Análisis de ciclo de vida, se tiene como resultado las ocho categorías de impacto que se están analizando en esta etapa de valorización con el método ReCiPe 2016 y con base de datos de Ecoinvent.

Tabla 11. Resultados de los elementos de categoría de impacto en la etapa de valorización

Ítem	Descripción de los elementos del flujo
1	<p style="text-align: center;">Categoría de impacto: Eutrofización de agua dulce</p> <p>Impact category: <input type="text" value="Freshwater eutrophication"/></p> <ul style="list-style-type: none"> -1.768 kg P eq: treatment of sulfidic tailings, from zinc-lead mine operation, tailings ... -3.073 kg P eq: treatment of sulfidic tailings, from zinc-lead mine operation, tailings ... -13.424 kg P eq: treatment of wastewater from vegetable oil refinery wastewater from ve... -14.767 kg P eq: treatment of spoil from lignite mining, in surface landfill spoil from... -17.983 kg P eq: treatment of spoil from hard coal mining, in surface landfill spoil fr... -21.322 kg P eq: Other
2	<p style="text-align: center;">Categoría de impacto: Calentamiento Global</p> <p>Impact category: <input type="text" value="Global warming"/></p> <ul style="list-style-type: none"> -7.738E3 kg CO2 eq: heat production, at hard coal industrial furnace 1-10MW heat, district... -9.565E3 kg CO2 eq: packaging glass production, white packaging glass, white APOS, U - RoW -1.171E4 kg CO2 eq: polyol production polyol APOS, U - RER -1.173E4 kg CO2 eq: polyol production polyol APOS, U - RoW -2.921E4 kg CO2 eq: ethylene production, average ethylene APOS, U - RoW -1.281E5 kg CO2 eq: Other
3	<p style="text-align: center;">Categoría de impacto: Toxicidad cancerígena humana</p> <p>Impact category: <input type="text" value="Human carcinogenic toxicity"/></p> <ul style="list-style-type: none"> -9.176E2 kg 1,4-DCB: treatment of spoil from hard coal mining, in surface landfill spoil fr... -9.922E2 kg 1,4-DCB: treatment of average incineration residue, residual material landfill ... -1.488E3 kg 1,4-DCB: core board production core board APOS, U - RoW -2.546E3 kg 1,4-DCB: zinc mine operation zinc concentrate APOS, U - GLO -7.166E3 kg 1,4-DCB: treatment of electric arc furnace slag, residual material landfill ele... -7.762E3 kg 1,4-DCB: Other
4	<p style="text-align: center;">Categoría de impacto: Radicación ionizante</p> <p>Impact category: <input type="text" value="Ionizing radiation"/></p> <ul style="list-style-type: none"> -1.914E3 kBq Co-60 eq: core board production core board APOS, U - RoW -2.088E3 kBq Co-60 eq: uranium mine operation, underground uranium ore, as U APOS, U - RoW -2.212E3 kBq Co-60 eq: uranium mine operation, underground uranium ore, as U APOS, U - RNA -2.121E4 kBq Co-60 eq: treatment of spent nuclear fuel, reprocessing spent nuclear fuel APO... -1.900E5 kBq Co-60 eq: treatment of tailing, from uranium milling tailing, from uranium milli... -3.973E3 kBq Co-60 eq: Other

Continua...

Ítem	Descripción de los elementos del flujo
5	<p style="text-align: center;">Categoría de impacto: Uso de suelo</p>  <p>Impact category: Land use</p> <ul style="list-style-type: none"> -3.609E3 m2a crop eq: hardwood forestry, birch, sustainable forest management pulpwood, hard... -4.852E3 m2a crop eq: hardwood forestry, birch, sustainable forest management pulpwood, hard... -6.556E3 m2a crop eq: softwood forestry, pine, sustainable forest management pulpwood, softw... -2.551E4 m2a crop eq: softwood forestry, spruce, sustainable forest management pulpwood, sof... -2.628E4 m2a crop eq: softwood forestry, pine, sustainable forest management pulpwood, softw... -1.226E4 m2a crop eq: Other
6	<p style="text-align: center;">Categoría de impacto: Agotamiento de ozono estratosférico</p>  <p>Impact category: Stratospheric ozone depletion</p> <ul style="list-style-type: none"> 0.024 kg CFC11 eq: treatment of garden biowaste, composting in heaps compost APOS, U - ... -2.624E-3 kg CFC11 eq: nitric acid production, product in 50% solution state nitric acid, wit... -5.354E-3 kg CFC11 eq: nitric acid production, product in 50% solution state nitric acid, wit... -6.723E-3 kg CFC11 eq: nitric acid production, product in 50% solution state nitric acid, wit... -7.545E-3 kg CFC11 eq: polyvinylidenechloride production, granulate polyvinylidenechloride, gra... -0.065 kg CFC11 eq: Other
7	<p style="text-align: center;">Categoría de impacto: Acidificación terrestre</p>  <p>Impact category: Terrestrial acidification</p> <ul style="list-style-type: none"> -34.822 kg SO2 eq: polyol production polyol APOS, U - RER -34.896 kg SO2 eq: polyol production polyol APOS, U - RoW -48.026 kg SO2 eq: heat production, at hard coal industrial furnace 1-10MW heat, district... -59.410 kg SO2 eq: ethylene production, average ethylene APOS, U - RoW -71.662 kg SO2 eq: packaging glass production, white packaging glass, white APOS, U - RoW -5.744E2 kg SO2 eq: Other
8	<p style="text-align: center;">Categoría de impacto: Ecotoxicidad terrestre</p>  <p>Impact category: Terrestrial ecotoxicity</p> <ul style="list-style-type: none"> -1.239E5 kg 1,4-DCB: smelting of copper concentrate, sulfide ore copper, anode APOS, U - RoW -1.260E5 kg 1,4-DCB: smelting of copper concentrate, sulfide ore copper, anode APOS, U - CN -1.586E5 kg 1,4-DCB: treatment of brake wear emissions, lorry brake wear emissions, lorry ... -1.746E5 kg 1,4-DCB: core board production core board APOS, U - RoW -2.564E5 kg 1,4-DCB: zinc mine operation zinc concentrate APOS, U - GLO -6.248E5 kg 1,4-DCB: Other

Nota: Detalles de cada categoría de impacto de sus elementos en la etapa de recolección y transporte.

En la **Tabla 11**, se indica el resultado por medio de gráficas, los valores obtenidos en cada categoría de impacto y como el elemento del flujo interviene en cada categoría de impacto dando en su totalidad valores negativos, que se interpreta como resultados beneficiosos para el ambiente.

La categoría de impacto más representativa en esta valorización son la toxicidad cancerígena humana y la ecotoxicidad terrestre. El menos representativo es el agotamiento de ozono estratosférico, que está muy próximo a ser un valor positivo.

- **Resultados del ACV en la etapa de valorización de RSM,**

La etapa de valorización da como resultado las ocho categorías de impacto, tienen unidades con diferente factor de caracterización, por ello, se necesitan normalizar para poder comparar entre categorías de impacto los valores más representativos como toxicidad cancerígena humana con $-2.09E+04$ kg 1,4-DCB eq y ecotoxicidad terrestre con $-1.46 E+06$ kg 1,4-DCB eq son los valores que se obtienen como resultado en la **Tabla 12**. Según este resultado la valorización en todas las categorías de impacto es negativas cumpliendo con metas ambientales sostenibles basadas en el ACV.

Tabla 12. Resultados de impacto ambiental en la etapa de valorización de RSM

Ítem	Categoría de Impacto Ambiental	Valorización	Unidad	Normalizado
1	Eutrofización de agua dulce	-7.23E+01	kg P eq	-111.40
2	Calentamiento Global	-1.98E+05	kg CO ₂ eq	-24.79
3	Toxicidad cancerígena humana	-2.09E+04	kg 1,4-DCB	-7534.64
4	Radicación ionizante	-2.21E+05	kBq Co-60 eq	-460.57
5	Uso de suelo	-7.91E+04	m ² a crop eq	-12.81
6	Agotamiento de ozono estratosférico	-6.00E-02	kg CFC-11 eq	-1.06
7	acidificación terrestre	-8.23E+02	kg SO ₂ eq	-20.09
8	Ecotoxicidad terrestre	-1.46E+06	kg 1,4-DCB eq	-1413.00

Nota: Para fines didácticos se resaltó la letra en negrita los valores más beneficiosos.

5.1.3. Etapa de Disposición final

Fase 1: Definición del objetivo y el alcance

- Objetivo específico 3:

El objetivo específico 03 hace referencia a la cuantificación de la etapa de disposición final del Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales en términos de impactos ambientales.

- Alcance:

Para efectos de facilidad de cálculos, en la etapa de disposición final se analizó la cantidad de los RSM dispuestos en un relleno sanitario con quema de metano y la generación eléctrica estimada con respecto a la cantidad de residuos dispuestos en el relleno. Cabe indicar que los RSM son dispuestos en el relleno sanitario de Petramás; y que, al ser dispuestos, estos comienzan a descomponerse, emitiendo al ambiente contaminante como el gas metano CH₄; que al ser quemados es convertido a dióxido de carbono CO₂ y el vapor del calor generado mueve una turbina del generador el cual es convertido en energía eléctrica.

- Limitantes:

Se tiene como una de las limitantes la disponibilidad de datos con respecto a infraestructura del relleno sanitario Modelo del Callao, por lo que se han utilizado fuentes secundarias de la municipalidad de Bellavista por transparencia pública con respecto a cantidades de residuos sólidos dispuestos.

- Asignación en masa:

Se determinó la cantidad de generación eléctrica producida en el distrito de Bellavista en función a la cantidad de residuos sólidos anualmente tratados en el relleno sanitario y a la generación eléctrica anual del relleno sanitario de Petramás.

- Suposiciones:

Se consideró que las emisiones evitadas en la generación eléctrica corresponden a la generación eléctrica mixta peruana.

- Unidad funcional:

La unidad funcional tomará el valor de la realización del total de manejo de residuos sólidos municipales, no por etapa de disposición final.

- o UF:34,631.18 TM de Residuos Sólidos Municipales/ Año

Fase 2: Análisis del inventario del ciclo de vida (ICV)

En la etapa de disposición final se consideró todos los residuos generados en el distrito de Bellavista para el año 2021 fueron dispuestos en el Relleno Sanitario Modelo del Callao localizado en la margen derecha del río Chillón Altura del Km19 carreteras Ventanilla- Callao.

Tabla 13. *Flujo de referencia para la etapa de disposición final de RSM*

Ítem	Etapa de disposición final			
	Descripción	Cantidad	Unidad	Fuente
1	Residuos sólidos dispuestos en el Relleno Sanitario de Petramás, Ventanilla	34250.4	TM/anual	SIGERSOL, 2021
2	Generación eléctrica en el Relleno Sanitario de Petramás, Ventanilla	425.197	MWh	Estimación

Nota: TM: Tonelada Métrica, MWh: Mega Watt, por Reporte Sigersol,2021.

Como resultado del inventario se tiene la **Tabla 13**, donde se detalla los flujos de referencia para la etapa de disposición final de RSM y que ayuda a definir para realizar el modelado en la fase tres del ACV.

Fase 3: Evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV)

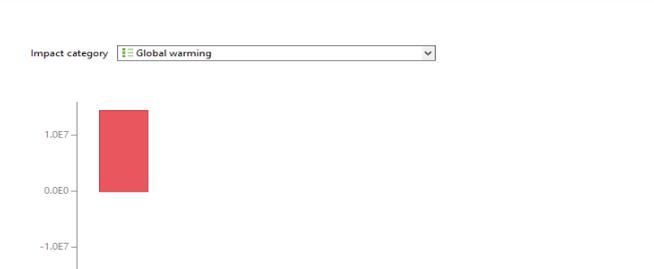
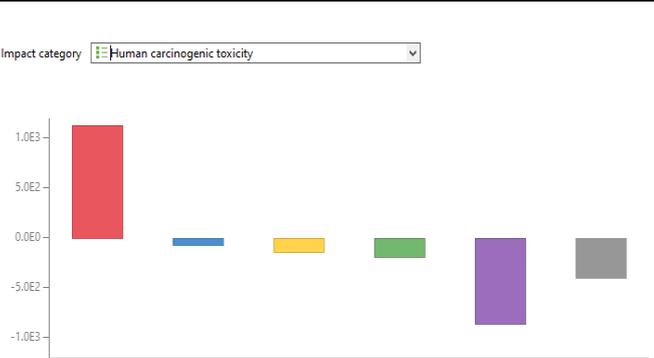
Se procedió a realizar el modelado en base a lo interpretado en el inventario del Ciclo de Vida de los flujos de entradas y salidas de la disposición final de los residuos generados en el distrito de Bellavista, con ayuda del software OpenLCA.

Al realizar el inventariado del Análisis de ciclo de vida, se tiene como resultado las ocho categorías de impacto que se están analizando en esta etapa de disposición final con el método ReCiPe 2016 y con base de datos de Ecoinvent.

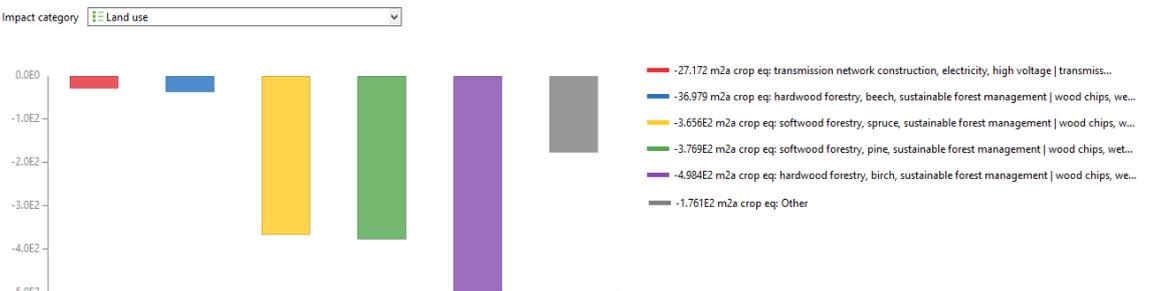
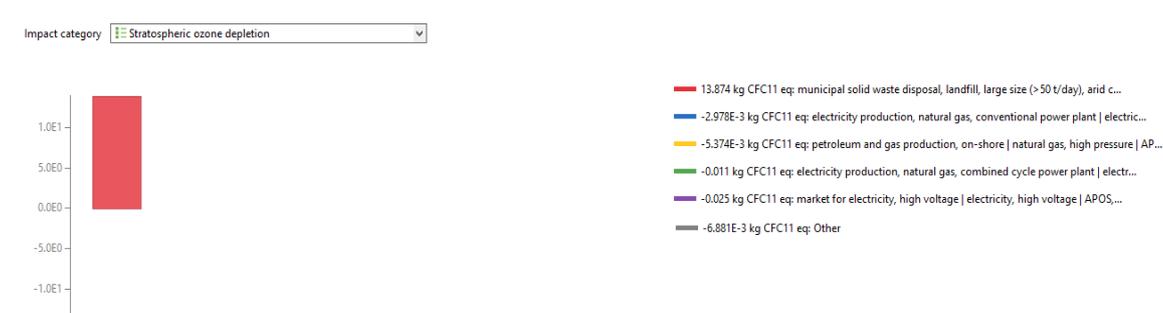
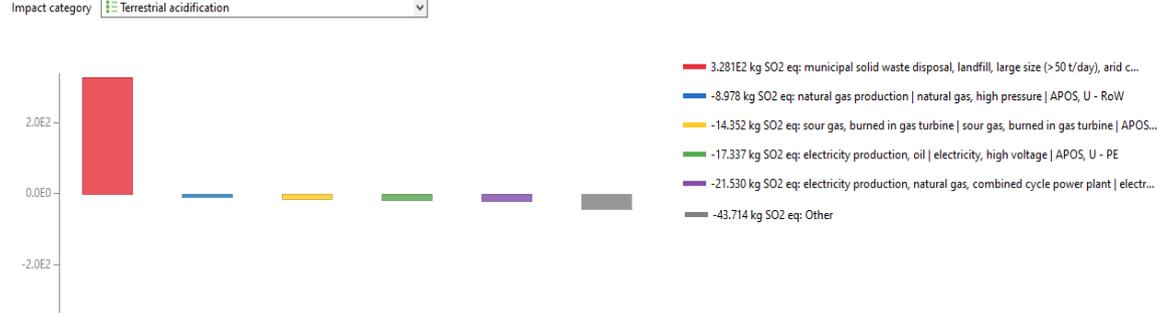
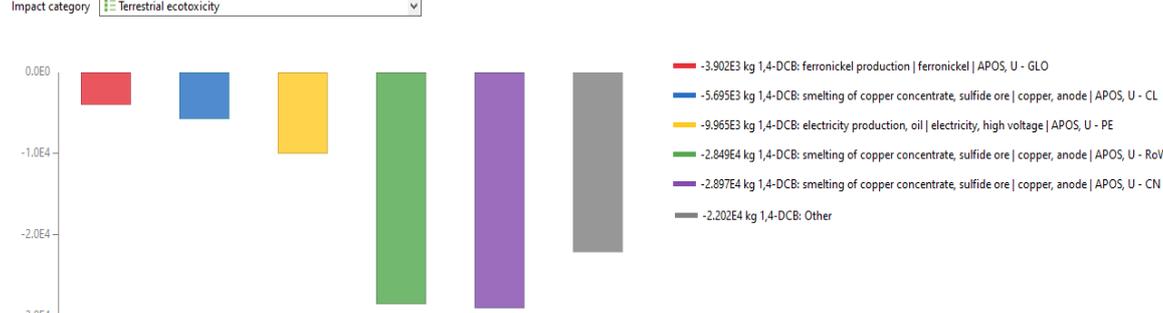
En la **Tabla 14**, se indica el resultado por medio de gráficas, los valores obtenidos en cada categoría de impacto y como cada elemento del flujo que interviene marca la diferencia, a pesar de que en su mayoría de elementos en cada categoría de impacto sean negativo, tienen un elemento con valor positivo como es el caso del cambio climático, agotamiento de ozono estratosférico y acidificación terrestre, que se interpreta como resultados dañinos para el ambiente por los efectos que genera los residuos sólidos tanto en el suelo, aire, etc.

La categoría de impacto más representativa en esta etapa es la toxicidad cancerígena humana y la ecotoxicidad terrestre. El menos representativo es el Agotamiento de ozono estratosférico, que está muy próximo a ser un valor positivo. La etapa de la valorización tuvo como elemento de flujo el tema energético según la categoría de toxicidad cancerígena humana.

Tabla 14. Resultados de los elementos de categoría de impacto en la etapa de disposición final

Ítem	Descripción de los elementos del flujo
1	<p style="text-align: center;">Categoría de impacto: Eutrofización de agua dulce</p> <p>Impact category: <input type="text" value="Freshwater eutrophication"/></p>  <ul style="list-style-type: none"> ■ -0.178 kg P eq: treatment of sulfidic tailings, from copper mine operation, tailings imp... ■ -0.185 kg P eq: treatment of digester sludge, municipal incineration digester sludge [...] ■ -0.247 kg P eq: treatment of sulfidic tailings, from copper mine operation, tailings imp... ■ -0.459 kg P eq: treatment of spoil from lignite mining, in surface landfill spoil from... ■ -0.776 kg P eq: treatment of spoil from hard coal mining, in surface landfill spoil fr... ■ -0.600 kg P eq: Other
2	<p style="text-align: center;">Categoría de impacto: Calentamiento Global</p> <p>Impact category: <input type="text" value="Global warming"/></p>  <ul style="list-style-type: none"> ■ 1.447E7 kg CO2 eq: municipal solid waste disposal, landfill, large size (>50 t/day), arid c... ■ -2.492E3 kg CO2 eq: electricity production, oil electricity, high voltage APOS, U - PE ■ -3.252E3 kg CO2 eq: natural gas production, unprocessed, at extraction natural gas, unproc... ■ -1.438E4 kg CO2 eq: electricity production, natural gas, conventional power plant electric... ■ -5.098E4 kg CO2 eq: electricity production, natural gas, combined cycle power plant electr... ■ -1.394E4 kg CO2 eq: Other
3	<p style="text-align: center;">Categoría de impacto: Toxicidad cancerígena humana</p> <p>Impact category: <input type="text" value="Human carcinogenic toxicity"/></p>  <ul style="list-style-type: none"> ■ 1.125E3 kg 1,4-DCB: municipal solid waste disposal, landfill, large size (>50 t/day), arid c... ■ -73.709 kg 1,4-DCB: treatment of redmud from bauxite digestion, residual material landfill [...] ■ -1.409E2 kg 1,4-DCB: treatment of basic oxygen furnace slag, residual material landfill bas... ■ -1.930E2 kg 1,4-DCB: transmission network construction, electricity, medium voltage transmi... ■ -8.609E2 kg 1,4-DCB: treatment of electric arc furnace slag, residual material landfill ele... ■ -4.045E2 kg 1,4-DCB: Other
4	<p style="text-align: center;">Categoría de impacto: Radicación ionizante</p> <p>Impact category: <input type="text" value="Ionizing radiation"/></p>  <ul style="list-style-type: none"> ■ -2.782 kBq Co-60 eq: uranium mine operation, underground uranium ore, as U APOS, U - RNA ■ -5.742 kBq Co-60 eq: treatment of spent nuclear fuel, reprocessing spent nuclear fuel APO... ■ -30.452 kBq Co-60 eq: treatment of low level radioactive waste, plasma torch incineration lo... ■ -2.390E2 kBq Co-60 eq: treatment of tailing, from uranium milling tailing, from uranium milli... ■ -1.652E4 kBq Co-60 eq: municipal solid waste disposal, landfill, large size (>50 t/day), arid c... ■ -11.065 kBq Co-60 eq: Other

Continua...

Ítem	Descripción de los elementos del flujo
5	<p style="text-align: center;">Categoría de impacto: Uso de suelo</p>  <p>Impact category: <input type="text" value="Land use"/></p> <ul style="list-style-type: none"> -27.172 m2a crop eq: transmission network construction, electricity, high voltage transmiss... -36.979 m2a crop eq: hardwood forestry, beech, sustainable forest management wood chips, we... -3.656E2 m2a crop eq: softwood forestry, spruce, sustainable forest management wood chips, w... -3.769E2 m2a crop eq: softwood forestry, pine, sustainable forest management wood chips, wet... -4.984E2 m2a crop eq: hardwood forestry, birch, sustainable forest management wood chips, we... -1.761E2 m2a crop eq: Other
6	<p style="text-align: center;">Categoría de impacto: Agotamiento de ozono estratosférico</p>  <p>Impact category: <input type="text" value="Stratospheric ozone depletion"/></p> <ul style="list-style-type: none"> 13.874 kg CFC11 eq: municipal solid waste disposal, landfill, large size (>50 t/day), arid c... -2.978E-3 kg CFC11 eq: electricity production, natural gas, conventional power plant electr... -5.374E-3 kg CFC11 eq: petroleum and gas production, on-shore natural gas, high pressure AP... -0.011 kg CFC11 eq: electricity production, natural gas, combined cycle power plant electr... -0.025 kg CFC11 eq: market for electricity, high voltage electricity, high voltage APOS... -6.881E-3 kg CFC11 eq: Other
7	<p style="text-align: center;">Categoría de impacto: Acidificación terrestre</p>  <p>Impact category: <input type="text" value="Terrestrial acidification"/></p> <ul style="list-style-type: none"> 3.281E2 kg SO2 eq: municipal solid waste disposal, landfill, large size (>50 t/day), arid c... -8.978 kg SO2 eq: natural gas production natural gas, high pressure APOS, U - RoW -14.352 kg SO2 eq: sour gas, burned in gas turbine sour gas, burned in gas turbine APOS... -17.337 kg SO2 eq: electricity production, oil electricity, high voltage APOS, U - PE -21.530 kg SO2 eq: electricity production, natural gas, combined cycle power plant electr... -43.714 kg SO2 eq: Other
8	<p style="text-align: center;">Categoría de impacto: Ecotoxicidad terrestre</p>  <p>Impact category: <input type="text" value="Terrestrial ecotoxicity"/></p> <ul style="list-style-type: none"> -3.902E3 kg 1,4-DCB: ferronickel production ferronickel APOS, U - GLO -5.695E3 kg 1,4-DCB: smelting of copper concentrate, sulfide ore copper, anode APOS, U - CL -9.965E3 kg 1,4-DCB: electricity production, oil electricity, high voltage APOS, U - PE -2.849E4 kg 1,4-DCB: smelting of copper concentrate, sulfide ore copper, anode APOS, U - RoW -2.897E4 kg 1,4-DCB: smelting of copper concentrate, sulfide ore copper, anode APOS, U - CN -2.202E4 kg 1,4-DCB: Other

Nota: Detalles de cada categoría de impacto de sus elementos en la etapa de recolección y transporte.

- **Resultados del ACV en la etapa de disposición final de RSM,**
 Luego de realizar el modelado, se obtiene los resultados para las ocho categorías de impacto y se tendría los resultados para la etapa de disposición final.

Tabla 15. Resultados del ACV en la disposición final del manejo del RSM

Ítem	Categoría de Impacto Ambiental	Disposición Final	Unidad	Normalizado
1	Eutrofización de agua dulce	-2.45 E+00	kg P eq	-3.77
2	Calentamiento Global	1.44 E+07	kg CO ₂ eq	1800.69
3	Toxicidad cancerígena humana	-5.48 E+02	kg 1,4-DCB-eq	-197.74
4	Radicación ionizante	-1.68 E+04	kBq Co-60 eq	-34.97
5	Uso de suelo	-1.48 E+03	m ² a crop eq	-0.24
6	Agotamiento de ozono estratosférico	1.38 E+01	kg CFC-11 eq	230.85
7	acidificación terrestre	2.22 E+02	kg SO ₂ eq	5.42
8	Ecotoxicidad terrestre	-9.90 E+04	kg 1,4-DCB eq	-95.57

Nota: Para fines didácticos se resaltó la letra en negrita los valores más perjudiciales.

En la **Tabla15**, se interpreta estos valores como datos que causan un impacto ambiental en el manejo de residuos sólidos municipales, pero como los resultados en las que se obtiene son en diferentes unidades se necesitan normalizar para poder comparar entre categorías, al realizar la normalización para esta etapa de disposición final, los valores más representativos son de Calentamiento Global con 1.44 E+07 kg CO₂ eq y agotamiento de ozono estratosférico 1.38 E+01 kg CFC-11 eq y acidificación terrestre. 2.22 E+02 kg 1,4-DCB eq.

5.1.4. Resultados finales de las etapas de manejo de residuos sólidos municipales basándose en el ACV.

Se analizó cada etapa según el Análisis de Ciclo de vida con las fases de interés con el modelado del software OpenLCA. En base al ACV de las etapas de MRSM se estableció las características propias de los flujos de referencia, las bases de datos disponibles a utilizarse como la base de datos de Ecoinvent versión 3.8, el repositorio de PeruLCA y adaptación y/o modificación de las bases de datos ya existentes según las características propias de la localidad de Bellavista. Es por ello que antes de realizar cualquier tipo de cálculo, todas las cantidades y flujos de referencia deben estar en función a la unidad funcional de 34 631.18 TM de Residuos Sólidos Municipales/ Año, como se aplicó para cada etapa del MRSM.

1) Modelado resultante Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de Residuos Sólidos Municipales.

El diagrama final que se tiene del manejo de los residuos sólidos municipales se utiliza el software OpenLCA que cuenta con sus tres etapas clasificadas según el inventario establecido para la investigación y cada uno de los con sus respectivos entradas y salidas de flujos considerados en nuestro alcance de estudio, ver la “**Figura 15: Modelo del ACV según etapas de manejo de RSM mediante uso del software OpenLCA**”.

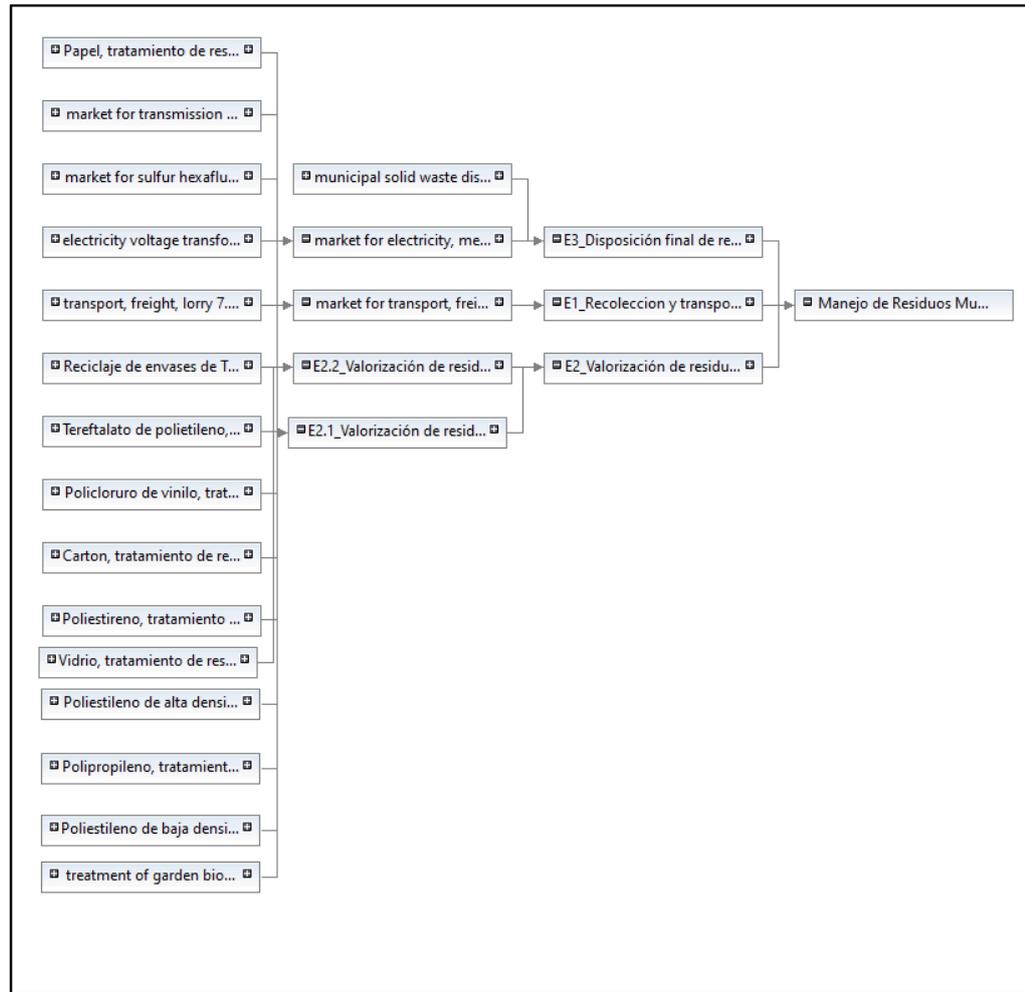


Figura 15. Diagrama del ACV según etapas de manejo de RSM mediante uso del software OpenLCA.

A partir de ello se procedió a correr el modelo según los flujos de referencias, los cuales fueron mencionados anteriormente. En donde se obtuvo los siguientes resultados finales para las etapas según el alcance de estudio, donde se puede visualizar que la valorización obtuvo en todas sus categorías valores negativos, de que se muestra en la “**Tabla 16: Resultados de impacto ambiental por etapa de Manejo de Residuos Sólidos Municipales**”.

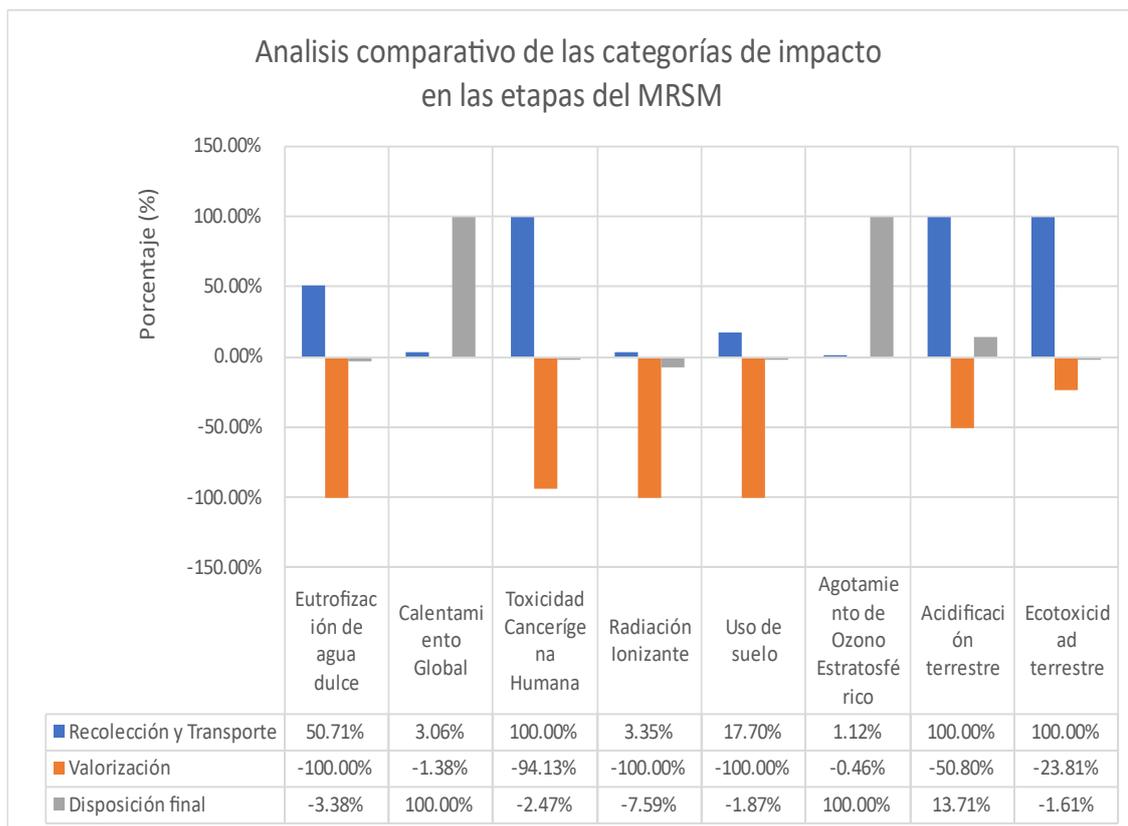
Tabla 16. Resultados de impacto ambiental en el Manejo de Residuos Sólidos Municipales

Ítem	Categoría de impacto	Unidades	Recolección y Transporte		Valorización		Disposición final		Resultado final	
			Resultado	%	Resultado	%	Resultado	%	Total	Normalizado
1	Eutrofización de agua dulce	kg P eq	3.67E+01	50.71%	-7.23E+01	-100.00%	-2.45E+00	-3.38%	-3.76E+01	-57.9
2	Calentamiento Global	kg CO ₂ eq	4.39E+05	3.06%	-1.98E+05	-1.38%	1.44E+07	100.00%	1.46E+07	1831.7
3	Toxicidad Cancerígena Humana	kg 1,4-DCB-eq	2.22E+04	100.00%	-2.09E+04	-94.13%	-5.48E+02	-2.47%	1.06E+03	382.3
4	Radiación Ionizante	kBq Co-60 eq	7.43E+03	3.35%	-2.21E+05	-100.00%	-1.68E+04	-7.59%	-2.31E+05	-479.9
5	Uso de suelo	m ² a crop eq	1.40E+04	17.70%	-7.91E+04	-100.00%	-1.48E+03	-1.87%	-6.64E+04	-10.8
6	Agotamiento de Ozono Estratosférico	kg CFC-11 eq	1.55E-01	1.12%	-6.34E-02	-0.46%	1.38E+01	100.00%	1.39E+01	232.4
7	Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	1.62E+03	100.00%	-8.23E+02	-50.80%	2.22E+02	13.71%	1.04E+03	25.4
8	Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DCB eq	6.15E+06	100.00%	-1.46E+06	-23.81%	-9.90E+04	-1.61%	4.67E+06	4508.3

Nota: - Para fines didácticos los valores rojos son impactos perjudiciales al ambiente y los valores en negrita los impactos beneficiosos

-Se analizarán las categorías de impacto más influyentes en el estudio, con respecto a Ecotoxicidad terrestre, Calentamiento Global y Toxicidad Cancerígena Humana.

Gráfico 3. Análisis comparativo de las categorías de impacto en el manejo de residuos sólidos municipales.



Nota: Resultados obtenidos en el software OpenLCA y adaptados en Excel.

En la **Gráfica 3**, se ven los resultados finales en el manejo de los RSM que tanto para la etapa de recolección y transporte y la etapa de disposición final, se obtienen porcentaje positivos, ya que las categorías de impacto más representativas son las que llegan a un 100% como el calentamiento global, Toxicidad Cancerígena Humana, Agotamiento de Ozono estratosférico, Acidificación terrestre y Ecotoxicidad terrestre.

A diferencia de ello, para la etapa de valorización se tienen resultados negativos queriendo explicar que son las cargas ambientales evitadas al ambiente, las categorías de impacto que más relevancia tienen en el análisis de ciclo de vida son la eutrofización de agua dulce, radiación ionizante y uso de suelo que son representados en un 100%. Además, al interpretar estos resultados beneficiosos al ambiente sirve para que el tomador de decisiones siga apostando por esta etapa de manejo de RSM como son de reciclaje y compostaje

antes de que sea dispuesto a un relleno sanitario el cual genera impactos no tan deseables.

5.2. Resultados inferenciales

Para poder determinar el impacto ambiental de las diferentes etapas operativas del manejo de los residuos se utilizaron las bases de datos de diferentes repertorios, base de datos que contienen incertidumbres propias de un rigor científico que han llevado para poder ser publicados. En base a ello, se empleó como estadístico inferencial el Análisis de Sensibilidad o prueba de Monte Carlos que itera valores finitos, dentro del rango de la incertidumbre propia de las distribuciones de las bases de datos, que le permite brindar valores aleatorios y ver el grado de variación del resultado final que tiene para cada tipo de categoría de impacto ambiental. Dicha prueba establecerá la confianza y certeza que tendrá el resultado final para poder estimar los impactos ambientales para cada etapa de manejo de residuos sólidos municipales.

Por ello desde el **Gráfico 4 al 26**, se muestran los resultados de los análisis de sensibilidad de Monte Carlos realizados para cada etapa operativa del manejo de los residuos sólidos y sus respectivas categorías de impacto brindado información de su comportamiento normal o no normal. Para analizar su distribución se tuvieron que exportar los datos obtenidos del software OpenLCA al SPSS y realizar el cálculo de los estadísticos descriptivos, entre los que destaca el grado de asimetría y curtosis para cada tipo de distribución, posterior a ello se procederá a realizar las pruebas de contrastación de hipótesis paramétricas y no paramétricas según corresponda.

Luego, se realizó con ayuda del software Excel el ordenamiento de los datos, aplicándose la fórmula (2) para el modelo y así obtener la sensibilidad de cada uno de las categorías de impacto, donde se obtuvo que para la etapa de recolección y transporte en la categoría de radiación ionizante se obtuvo una sensibilidad de 128%, correspondiendo a una distribución no normal leptocúrtica con una asimetría con sesgos a la derecha. No obstante, para la etapa de valorización se obtuvo el valor más alto de sensibilidad de 161.54% de sensibilidad, el cual tiene una distribución no normal asimétrica con sesgo a la

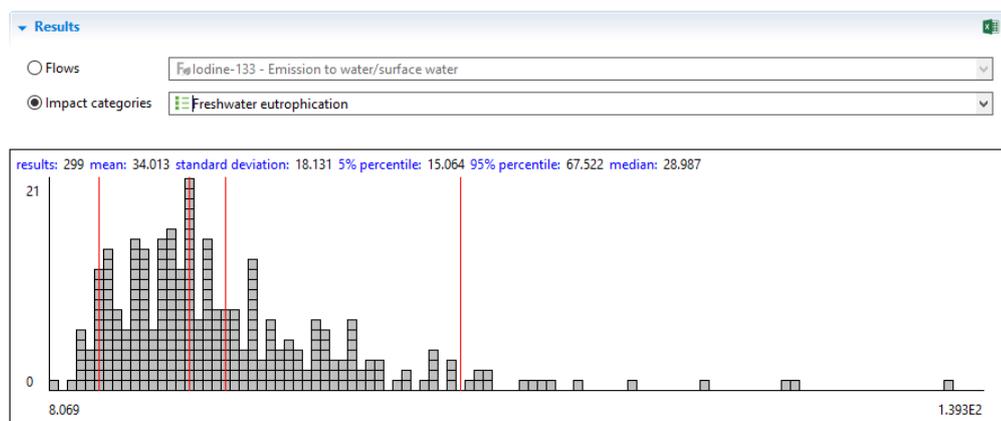
izquierda, con distribución de tipo leptocúrtica, así también para la etapa de disposición final se obtuvo una sensibilidad de 188.07% para la categoría de eutrofización de agua dulce, con una distribución no normal, asimétrica, con sesgo a la izquierda y de distribución de tipo leptocúrtica.

Los valores analizados se realizaron a partir de 299 resultados obtenidos de un total de 300 iteraciones de la prueba de Monte Carlos, por lo que se asume que a una mayor cantidad de incertidumbre en las bases datos existirá una mayor posibilidad de variar estos resultados, por lo que al ser utilizados considerando que al momento de realizar alguna variación del modelo el grado de variación va a ser muy significativa.

a. Análisis de sensibilidad para la etapa de recolección y transporte

En el presente apartado se explicará cada una de las gráficas de análisis de sensibilidad obtenidas por medio del software OpenLCA 1.11 para cada una de las categorías de impacto según su etapa del MRSM. Cabe detallar que todos los procesamientos estadísticos descriptivos e inferenciales son resumidos en las tablas de resumen de estadístico para cada una de las etapas de manejo en **Tabla 17, 18 y 19.**

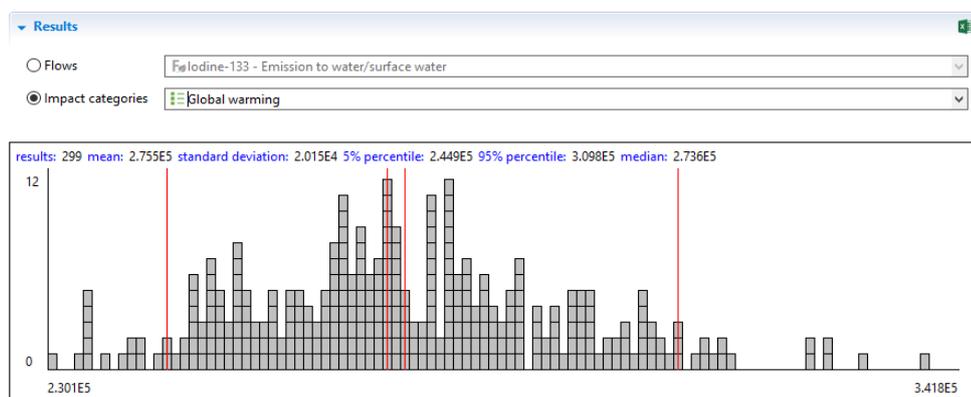
Gráfico 4. Etapa de recolección y transporte - Análisis de sensibilidad de eutrofización de agua dulce.



Nota: Extraído de la interfaz de OpenLCA1.11

Según la **Tabla 17** el tipo de distribución corresponde a una distribución no normal con una asimetría positiva con sesgo hacia la derecha siendo la distribución leptocúrtica, la cual tiene una sensibilidad del 53.31% respecto a su desviación estándar.

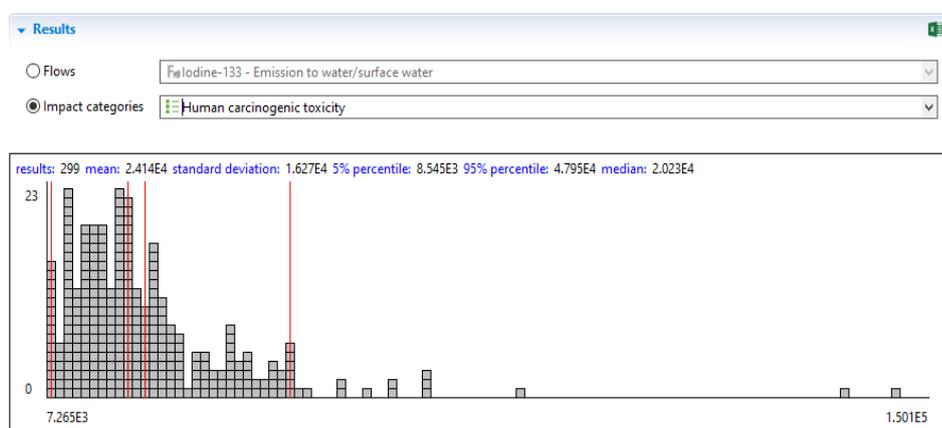
Gráfico 5. Etapa de recolección y transporte: Análisis de sensibilidad para Calentamiento Global.



Nota: Extraído de la interfaz de OpenLCA1.11.

Según la **Tabla 17** el tipo de distribución corresponde a una distribución no normal con una asimetría positiva con sesgo hacia la derecha siendo la distribución platicúrtica, el cual tiene una sensibilidad del 7.32% respecto a su desviación estándar.

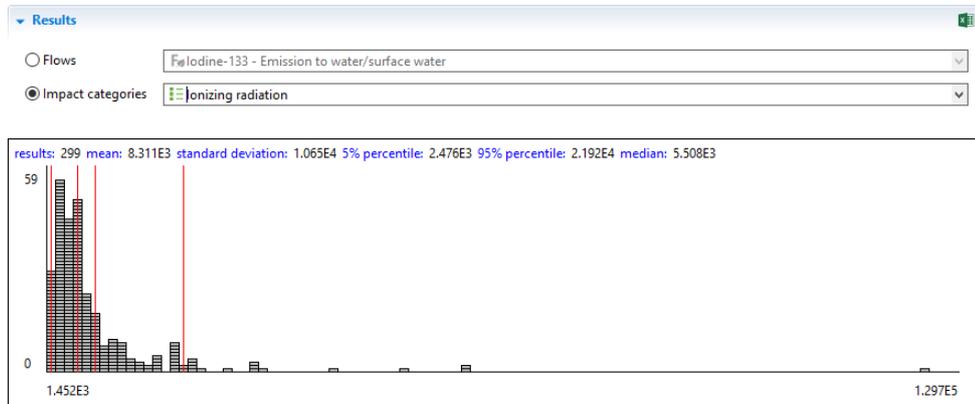
Gráfico 6. Etapa de recolección y transporte: Análisis de sensibilidad de Toxicidad Cancerígena Humana.



Nota: Extraído de la interfaz de OpenLCA1.11

Según la **Tabla 17** el tipo de distribución corresponde a una distribución no normal con una asimetría positiva con sesgo hacia la derecha siendo la distribución leptocúrtica; el cual tiene una sensibilidad de 67.40% respecto a su desviación estándar.

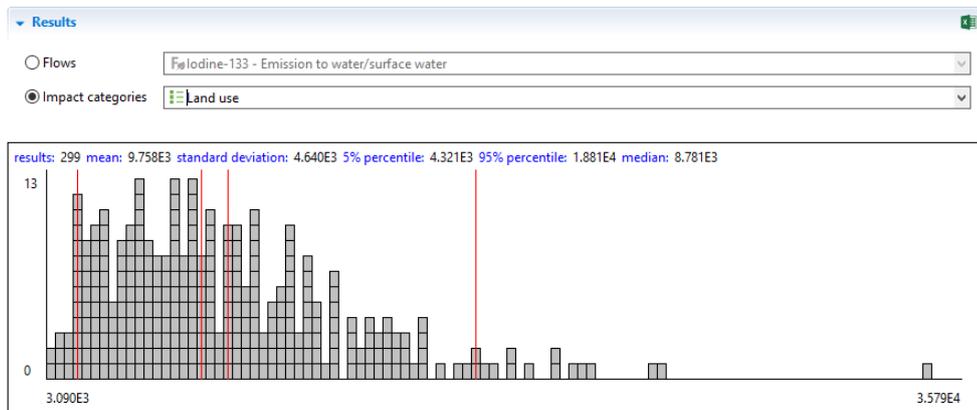
Gráfico 7. Etapa de recolección y transporte: Análisis de sensibilidad para Radiación Ionizante.



Nota: Extraído de la interfaz de OpenLCA1.11

Según la **Tabla 17** el tipo de distribución corresponde a una distribución no normal con una asimetría positiva con sesgo hacia la derecha, la cual a su vez cuenta con una curtosis de tipo leptocúrtica. Esta categoría de impacto presenta una sensibilidad de 128.10% respecto a su desviación estándar.

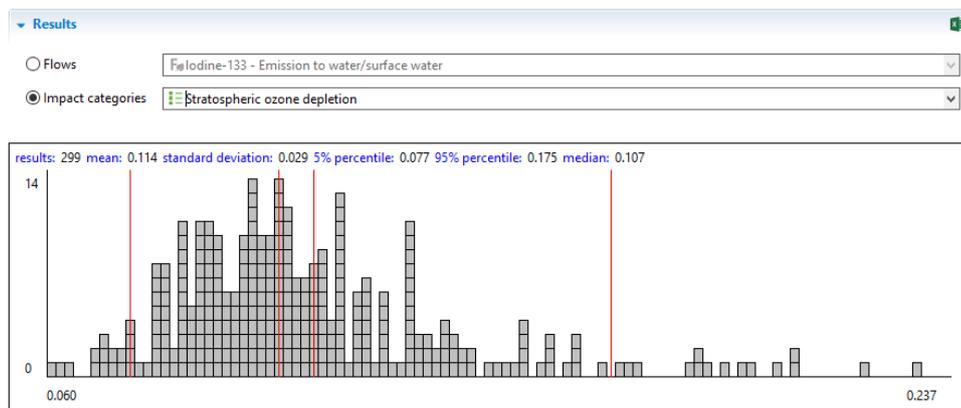
Gráfico 8. Etapa de recolección y transporte: Análisis de sensibilidad para Uso de Suelo.



Nota: Extraído de la interfaz de OpenLCA1.11

Según la **Tabla 17** el tipo de distribución corresponde a una distribución no normal con una asimetría positiva con sesgo hacia la derecha, la cual a su vez cuenta con una curtosis de tipo leptocúrtica. Esta categoría de impacto presenta una sensibilidad de 47.55% respecto a su desviación estándar.

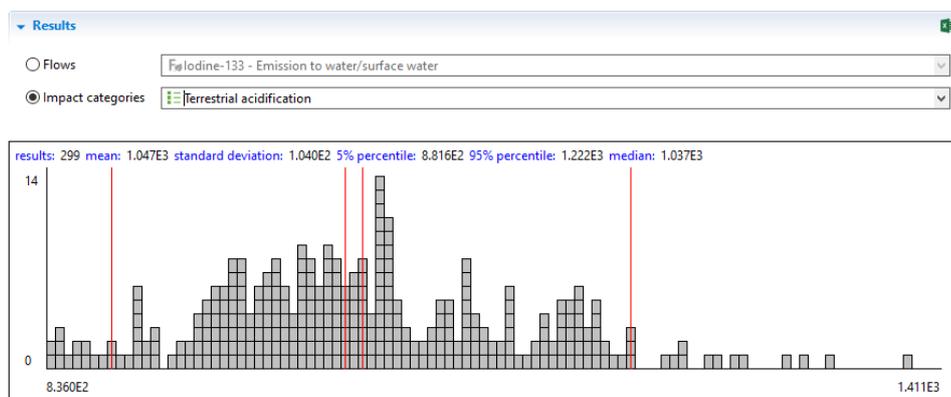
Gráfico 9. Etapa de recolección y transporte: Análisis de sensibilidad para Agotamiento de Ozono Estratosférico



Nota: Extraído de la interfaz de OpenLCA1.11

Según la **Tabla 17** el tipo de distribución corresponde a una distribución no normal con una asimetría positiva con sesgo hacia la derecha, la cual a su vez cuenta con una curtosis de tipo leptocúrtica. Esta categoría de impacto presenta una sensibilidad de 25.80% respecto a su desviación estándar.

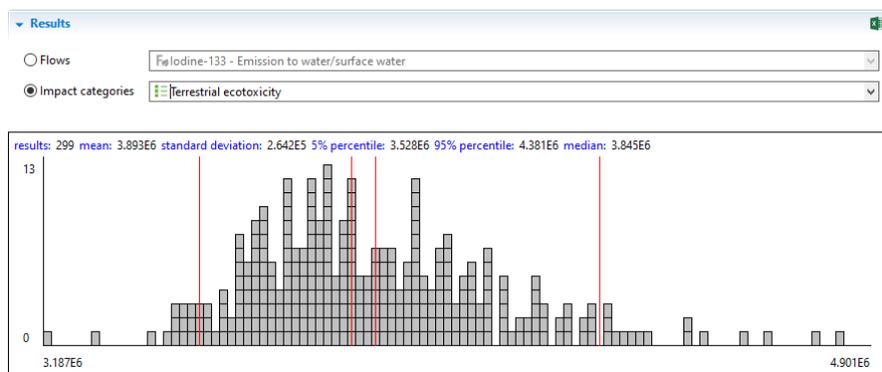
Gráfico 10. Etapa de recolección y transporte: Análisis de sensibilidad para Acidificación Terrestre.



Nota: Extraído de la interfaz de OpenLCA1.11

Según la **Tabla 17** el tipo de distribución corresponde a una distribución no normal con una asimetría positiva con sesgo hacia la derecha, la cual a su vez cuenta con una curtosis de tipo mesocúrtica. Esta categoría de impacto presenta una sensibilidad de 9.92% respecto a su desviación estándar.

Gráfico 11. Etapa de recolección y transporte: Análisis de sensibilidad para Ecotoxicidad Terrestre.

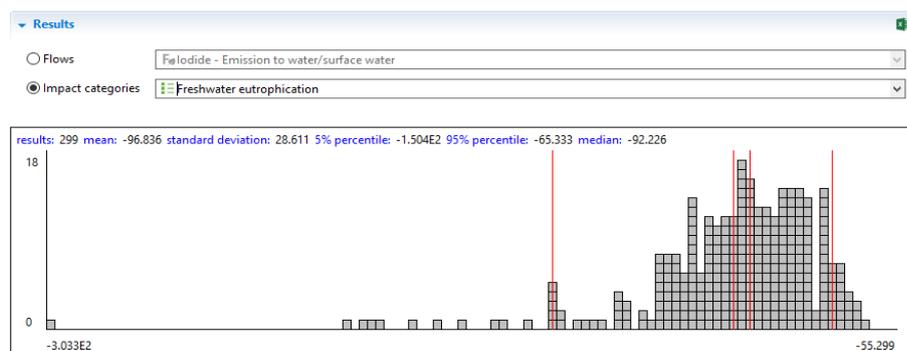


Nota: Extraído de la interfaz de OpenLCA1.11

Según la **Tabla 17** el tipo de distribución corresponde a una distribución no normal con una asimetría positiva con sesgo hacia la derecha, la cual a su vez cuenta con una curtosis de tipo leptocúrtica. Esta categoría de impacto presenta una sensibilidad de 47.55% respecto a la desviación estándar.

b. Análisis de sensibilidad para la etapa de valorización

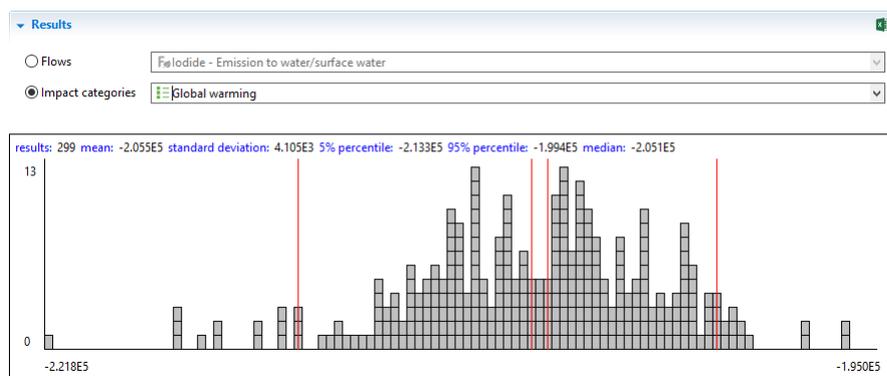
Gráfico 12. Etapa de valorización: Análisis de sensibilidad de eutrofización de agua dulce.



Nota: Extraído de la interfaz de OpenLCA1.11

Según la **Tabla 18** el tipo de distribución corresponde a una distribución no normal con una asimetría negativa con sesgo hacia la izquierda, la cual a su vez cuenta con una curtosis de tipo leptocúrtica. Esta categoría de impacto presenta una sensibilidad de 29.55% respecto a su desviación estándar.

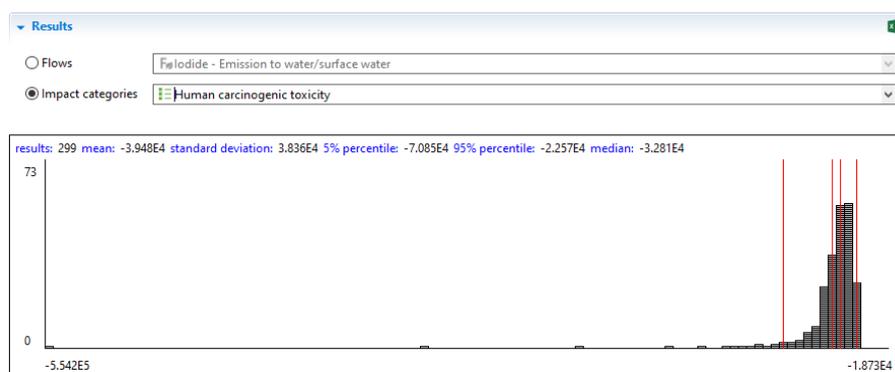
Gráfico 13. Etapa de valorización: Análisis de sensibilidad para Calentamiento Global.



Nota: Extraído de la interfaz de OpenLCA1.11

Según la **Tabla 18** el tipo de distribución corresponde a una distribución normal con una asimetría negativa con sesgo hacia la izquierda, la cual a su vez cuenta con una curtosis de tipo platicúrtica. Esta categoría presenta una sensibilidad de 2.00% respecto a su desviación estándar.

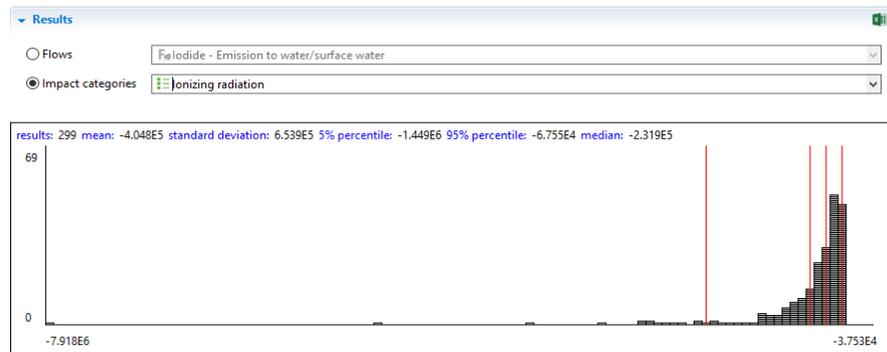
Gráfico 14. Etapa de valorización: Análisis de sensibilidad de Toxicidad Cancerígena Humana.



Nota: Extraído de la interfaz de OpenLCA1.11

Según la **Tabla 18** el tipo de distribución corresponde a una distribución no normal con una asimetría negativa con sesgo hacia la izquierda, la cual a su vez cuenta con una curtosis de tipo leptocúrtica. Esta categoría de impacto presenta una sensibilidad de 97.16% respecto a su desviación estándar.

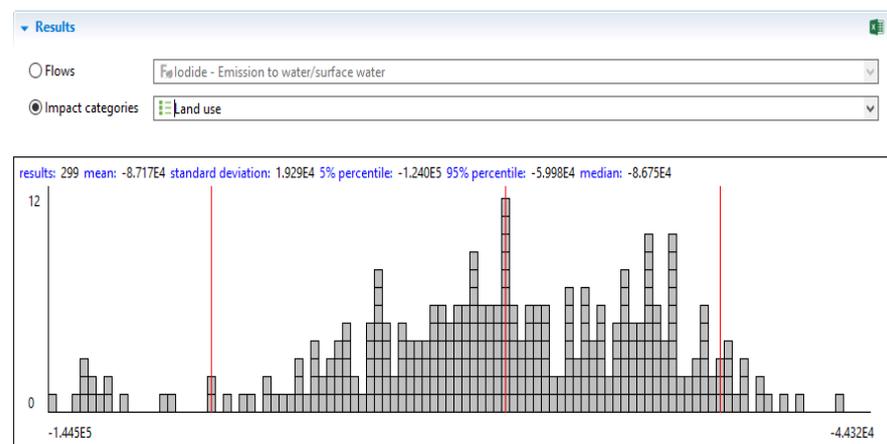
Gráfico 15. Etapa de valorización: Análisis de sensibilidad para Radiación Ionizante.



Nota: Extraído de la interfaz de OpenLCA1.11

Según la **Tabla 18** el tipo de distribución corresponde a una distribución no normal con una asimetría negativa con sesgo hacia la izquierda, la cual a su vez cuenta con una curtosis de tipo leptocúrtica. Esta categoría de impacto presenta una sensibilidad de 161.54% respecto a su desviación estándar.

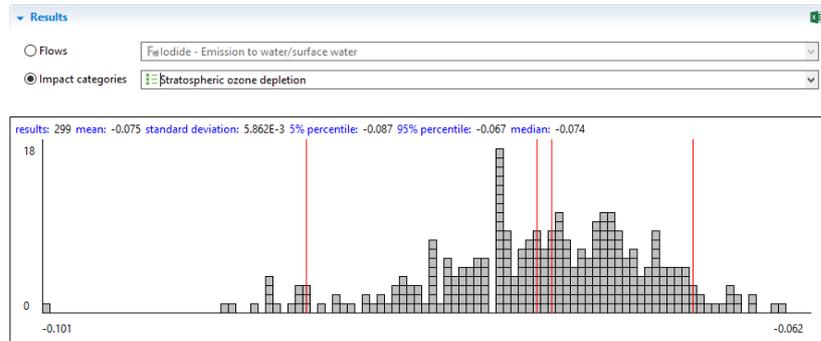
Gráfico 16. Etapa de valorización: Análisis de sensibilidad para Uso de Suelo



Nota: Extraído de la interfaz de OpenLCA1.11

Según la **Tabla 18** el tipo de distribución corresponde a una distribución normal con una asimetría negativa con sesgo hacia la izquierda, la cual a su vez cuenta con una curtosis de tipo platicúrtica. Esta categoría de impacto presenta una sensibilidad de 22.13% respecto a su desviación estándar.

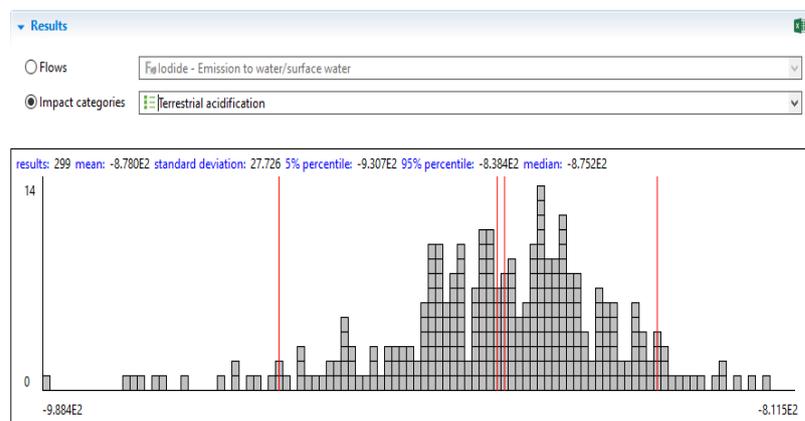
Gráfico 17. Etapa de valorización: Análisis de sensibilidad para Agotamiento de Ozono Estratosférico.



Nota: Extraído de la interfaz de OpenLCA1.11

Según la **Tabla 18** el tipo de distribución corresponde a una distribución no normal con una asimetría negativa con sesgo hacia la izquierda, la cual a su vez cuenta con una curtosis de tipo platicúrtica. Esta categoría presenta una sensibilidad de 7.86% respecto a su desviación estándar.

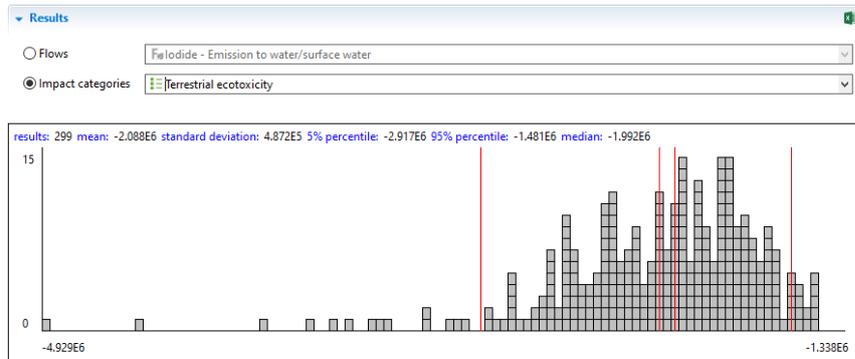
Gráfico 18. Etapa de valorización: Análisis de sensibilidad para Acidificación Terrestre.



Nota: Extraído de la interfaz de OpenLCA1.11

Según la **Tabla 18** el tipo de distribución corresponde a una distribución no normal con una asimetría negativa con sesgo hacia la izquierda, la cual a su vez cuenta con una curtosis de tipo platicúrtica. Esta categoría presenta una sensibilidad de 3.16% respecto a su desviación estándar.

Gráfico 19. Etapa de valorización: Análisis de sensibilidad para Ecotoxicidad Terrestre.

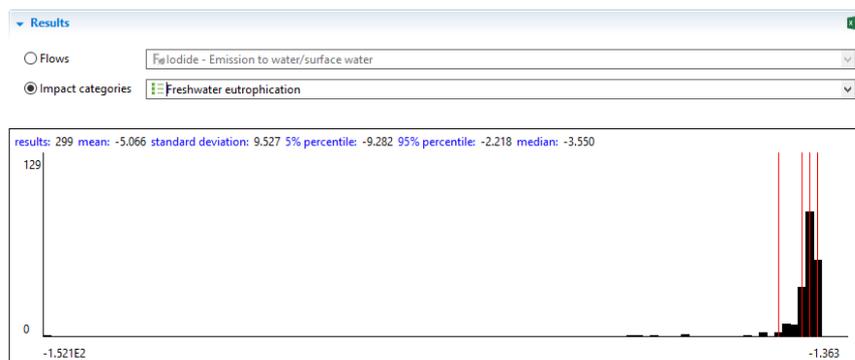


Nota: Extraído de la interfaz de OpenLCA1.11

Según la **Tabla 18** el tipo de distribución corresponde a una distribución no normal con una asimetría negativa con sesgo hacia la izquierda, la cual a su vez cuenta con una curtosis de tipo leptocúrtica. Esta categoría de impacto presenta una sensibilidad de 23.34% respecto a su desviación estándar.

c. Análisis de sensibilidad para la etapa de Disposición Final

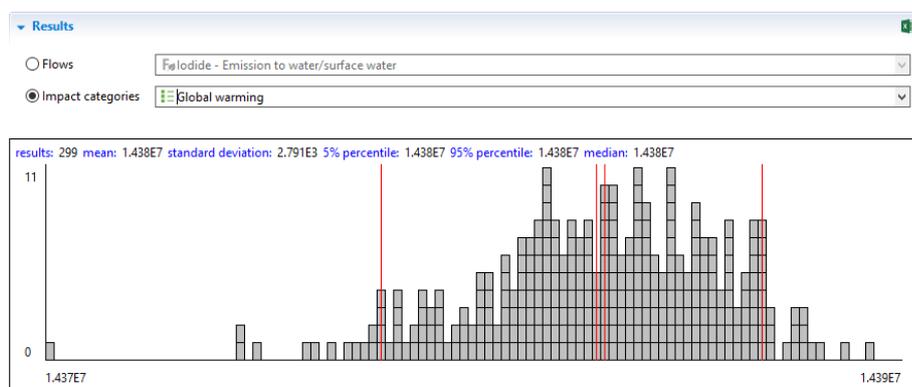
Gráfico 20. Etapa de disposición final: Análisis de sensibilidad de eutrofización de agua dulce.



Nota: Extraído de la interfaz de OpenLCA1.11

Según la **Tabla 19** el tipo de distribución corresponde a una distribución no normal con una asimetría negativa con sesgo hacia la izquierda, la cual a su vez presenta una curtosis de tipo leptocúrtica. Esta categoría de impacto ambiental tiene una sensibilidad de 29.55% respecto a su desviación estándar.

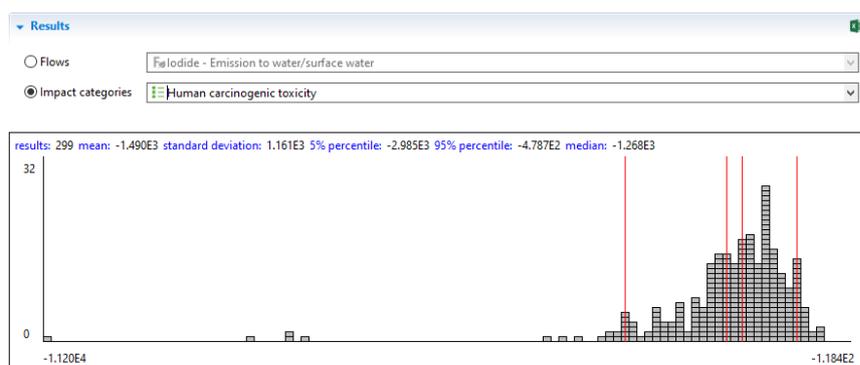
Gráfico 21. Etapa de disposición final: Análisis de sensibilidad para Calentamiento Global.



Nota: Extraído de la interfaz de OpenLCA1.11

Según la **Tabla 19** el tipo de distribución corresponde a una distribución normal con una asimetría negativa con sesgo hacia la izquierda, la cual a su vez presenta una curtosis de tipo platicúrtica. Esta categoría de impacto ambiental presenta una sensibilidad de 0.02% respecto a su desviación estándar.

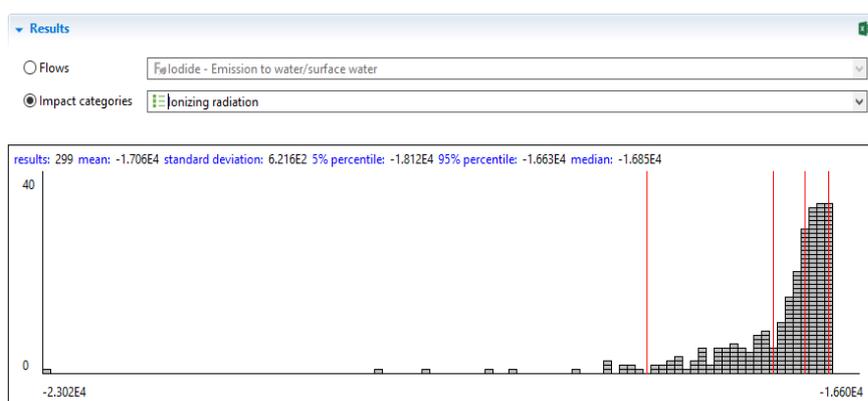
Gráfico 22. Etapa de disposición final: Análisis de sensibilidad de Toxicidad Cancerígena Humana.



Nota: Extraído de la interfaz de OpenLCA1.11

Según la **Tabla 19** el tipo de distribución corresponde a una distribución no normal con una asimetría negativa con sesgo hacia la izquierda, la cual a su vez presenta una curtosis de tipo leptocúrtica. Esta categoría de impacto ambiental presenta una sensibilidad de 77.87% respecto a su desviación estándar.

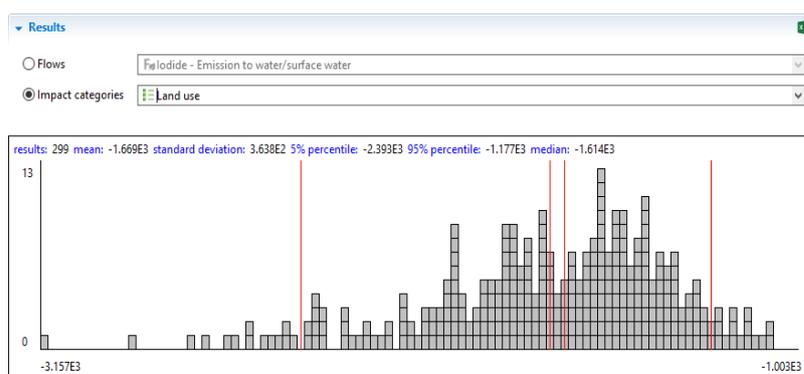
Gráfico 23. Etapa de disposición final: Análisis de sensibilidad para Radiación Ionizante.



Nota: Extraído de la interfaz de OpenLCA1.11

Según la **Tabla 19** el tipo de distribución corresponde a una distribución no normal con una asimetría negativa con sesgo hacia la izquierda, la cual a su vez presenta una curtosis de tipo leptocúrtica. Esta categoría de impacto ambiental presenta una sensibilidad de 3.64% respecto a su desviación estándar.

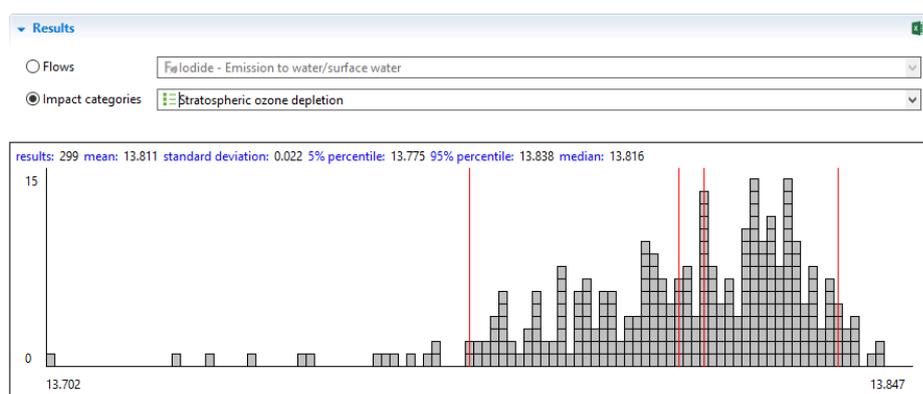
Gráfico 24. Etapa de disposición final: Análisis de sensibilidad para Uso de Suelo.



Nota: Extraído de la interfaz de OpenLCA1.11

Según la **Tabla 19** el tipo de distribución corresponde a una distribución no normal con una asimetría negativa con sesgo hacia la izquierda, la cual a su vez presenta una curtosis de tipo platicúrtica. Esta categoría de impacto ambiental presenta una sensibilidad de 21.80% respecto a su desviación estándar.

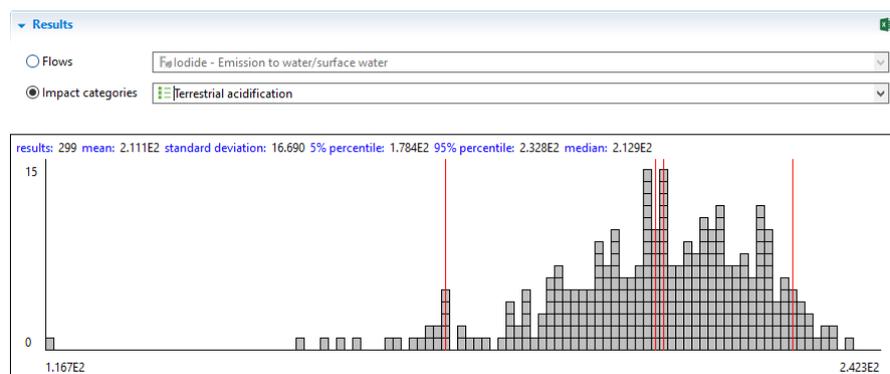
Gráfico 25. Etapa de disposición final: Análisis de sensibilidad para Agotamiento de Ozono Estratosférico.



Nota: Extraído de la interfaz de OpenLCA1.11.

Según la **Tabla 19** el tipo de distribución corresponde a una distribución no normal con una asimetría negativa con sesgo hacia la izquierda, la cual a su vez presenta una curtosis de tipo platicúrtica. Esta categoría de impacto ambiental presenta una sensibilidad de 0.16% respecto a su desviación estándar.

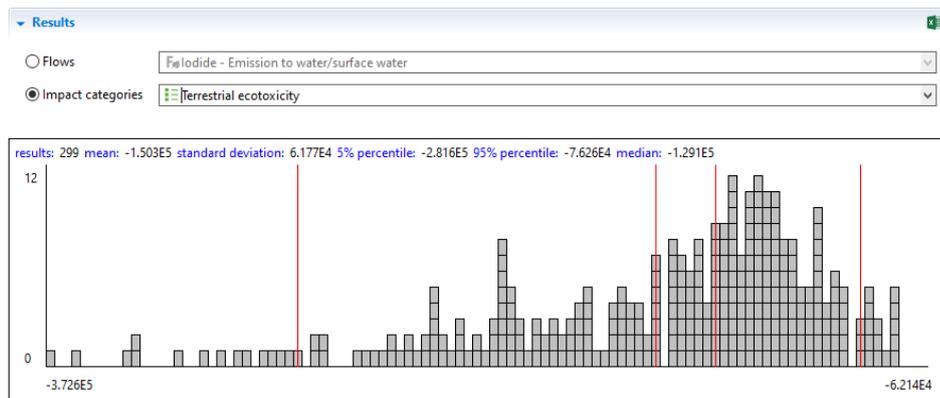
Gráfico 26. Etapa de disposición final: Análisis de sensibilidad para Acidificación Terrestre.



Nota: Extraído de la interfaz de OpenLCA1.11.

Según la **Tabla 19** el tipo de distribución corresponde a una distribución no normal con una asimetría negativa con sesgo hacia la izquierda, la cual a su vez presenta una curtosis de tipo leptocúrtica. Esta categoría de impacto ambiental presenta una sensibilidad de 7.91% respecto a su desviación estándar.

Gráfico 27. Etapa de disposición final: Análisis de sensibilidad para Ecotoxicidad Terrestre.



Nota: Extraído de la interfaz de OpenLCA1.11.

Según la **Tabla 19** el tipo de distribución corresponde a una distribución no normal con una asimetría negativa con sesgo hacia la izquierda, la cual a su vez presenta una curtosis de tipo platicúrtica. Esta categoría de impacto ambiental presenta una sensibilidad de 41.10% respecto a su desviación estándar.

Tabla 17. Cuadro resumen de estadísticos para la etapa de recolección y transporte

Etapa de recolección y transporte										
Ítem	Categoría de Impacto Ambiental	Unidad	Media	Desviación	Mediana	Sensibilidad	Sig. Kolmogorov – Smirnov ¹	Distribución	Curtosis	Asimetría
1	Eutrofización de agua dulce	kg P eq	3.4013E+01	1.8131E+01	2.8987E+01	53.31%	0.00	No normal	6.42	2.03
2	Calentamiento global	kg CO ₂ eq	2.7548E+05	2.0155E+04	2.7355E+05	7.32%	0.04	No normal	0.07	0.36
3	Toxicidad cancerígena humana	kg 1,4-DCB-eq	2.4144E+04	1.6272E+04	2.0233E+04	67.40%	0.00	No normal	20.53	3.50
4	Radiación Ionizante	kBq Co-60 eq	8.3108E+03	1.0646E+04	5.5084E+03	128.10%	0.00	No normal	61.59	6.52
5	Uso de suelo	m ² a crop eq	9.7580E+03	4.6401E+03	8.7811E+03	47.55%	0.00	No normal	3.57	1.43
6	Ozono estratosférico	kg CFC-11 eq	1.1355E-01	2.9295E-02	1.0700E-01	25.80%	0.00	No normal	2.61	1.42
7	Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	1.0475E+03	1.0396E+02	1.0367E+03	9.92%	0.00	No normal	0.20	0.47
8	Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DCB eq	3.8929E+06	2.6423E+05	3.8451E+06	6.79%	0.00	No normal	1.10	0.79

Nota: Se procesaron los datos con el software OpenLCA y SPSS .

¹ Significancia de la prueba de normalidad de Kolmogorov – Smirnov con corrección Lilliefors.

Tabla 18. Cuadro resumen de estadísticos para la etapa de Valorización

Etapa de valorización										
Ítem	Categoría de Impacto Ambiental	Unidad	Media	Desviación	Mediana	Sensibilidad	Sig. Kolmogorov – Smirnov ¹	Distribución	Curtosis	Asimetría
1	Eutrofización de agua dulce	kg P eq	-9.6836E+01	2.8611E+01	-9.2226E+01	29.55%	0.00	No normal	11.30	-2.52
2	Calentamiento global	kg CO ₂ eq	-2.0553E+05	4.1050E+03	-2.0507E+05	2.00%	0.08	Normal	0.85	-0.51
3	Toxicidad cancerígena humana	kg 1,4-DCB-eq	-3.9478E+04	3.8356E+04	-3.2805E+04	97.16%	0.00	No normal	117.60	-9.74
4	Radiación Ionizante	kBq Co-60 eq	-4.0481E+05	6.5393E+05	-2.3189E+05	161.54%	0.00	No normal	65.10	-6.80
5	Uso de suelo	m ² a crop eq	-8.7166E+04	1.9292E+04	-8.6752E+04	22.13%	0.07	Normal	0.31	-0.60
6	Ozono estratosférico	kg CFC-11 eq	-7.4620E-02	5.8621E-03	-7.3983E-02	7.86%	0.00	No normal	1.09	-0.76
7	Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	-8.7796E+02	2.7726E+01	-8.7525E+02	3.16%	0.00	No normal	1.45	-0.80
8	Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DCB eq	-2.0876E+06	4.8720E+05	-1.9916E+06	23.34%	0.00	No normal	5.93	-1.74

Nota: Se procesaron los datos con el software OpenLCA y SPSS .

¹ Significancia de la prueba de normalidad de Kolmogorov – Smirnov con corrección Lilliefors.

Tabla 19. Cuadro resumen de estadísticos para la etapa de disposición final

Etapa de disposición final										
Ítem	Categoría de Impacto Ambiental	Unidad	Media	Desviación	Mediana	Sensibilidad	Sig. Kolmogorov – Smirnov ¹	Distribución	Curtosis	Asimetría
1	Eutrofización de agua dulce	kg P eq	-5.0655E+00	9.5266E+00	-3.5499E+00	188.07%	0.00	No normal	192.60	-12.88
2	Calentamiento global	kg CO ₂ eq	1.4381E+07	2.7913E+03	1.4381E+07	0.02%	.200*	Normal	1.04	-0.67
3	Toxicidad cancerígena humana	kg 1,4-DCB	-1.4904E+03	1.1606E+03	-1.2681E+03	77.87%	0.00	No normal	26.28	-4.26
4	Radiación Ionizante	kBq Co-60 eq	-1.7058E+04	6.2156E+02	-1.6848E+04	3.64%	0.00	No normal	32.06	-4.46
5	Uso de suelo	m ² a crop eq	-1.6686E+03	3.6382E+02	-1.6142E+03	21.80%	0.00	No normal	0.96	-0.89
6	Ozono estratosférico	kg CFC-11 eq	1.3811E+01	2.1872E-02	1.3816E+01	0.16%	0.00	No normal	2.94	-1.32
7	Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	2.1109E+02	1.6690E+01	2.1292E+02	7.91%	0.00	No normal	3.33	-1.21
8	Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DCB eq	-1.5029E+05	6.1765E+04	-1.2910E+05	41.10%	0.00	No normal	1.10	-1.17

Nota: Se procesaron los datos con el software OpenLCA y SPSS .

¹ Significancia de la prueba de normalidad de Kolmogorov – Smirnov con corrección Lilliefors.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La discusión de los resultados de la presente investigación se obtiene de los resultados de las etapas obtenidas del MRSM en el distrito de Bellavista, que fueron analizados mediante el ACV y así se determinó los impactos ambientales beneficiosos para el distrito, por ello es relevante poder contrastar los resultados.

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

Contrastación con la hipótesis específica 1

- **H0:** La etapa de recolección y transporte en el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales no permite ser cuantificado en términos de impactos ambientales, 2021.
- **H1:** La etapa de recolección y transporte en el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales permite ser cuantificado en términos de impactos ambientales, 2021.

En contrastación con la hipótesis específica 1, se evaluaron los resultados obtenidos del análisis de Monte Carlos de un total de 299 datos que al ser procesados mediante la prueba de normalidad de Kolmogorov – Smirnosf se obtuvo las distribuciones a las cuales corresponden estas categorías de impacto (ver **Tabla 17**), una vez obtenido ello se procedió a validar la hipótesis mediante la prueba no paramétrica de rangos por signo de Wilcoxon, la cual corresponde a una distribución no normal; donde se estableció que para determinar si el ACV es eficiente en cuantificar impactos ambientales, la mediana(\tilde{x}) calculada deberá ser diferente de cero. A efectos de cálculo se estableció lo siguiente:

Prueba no paramétrica de Wilcoxon:

- $H_0: \tilde{x} = 0$; La mediana es igual a 0, no existe diferencias entre la mediana de la muestra y la mediana hipotética
- $H_a: \tilde{x} \neq 0$; La mediana es diferente de 0, existe diferencias entre la mediana de la muestra y la mediana hipotética

Según lo obtenido del SPSS (ver **Tabla 20**), se obtuvo que tiene una significancia menor a $p < 0.05$, por lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de trabajo para todas las categorías de impacto en la etapa de Recolección y Transporte del MRSM; la cual confirma la eficiencia de la técnica del ACV para determinación del impacto en estas ocho categorías. En el cual se obtuvo que las más resaltantes categorías fueron para ecotoxicidad terrestre con $6.15E+06$ kg 1,4-DCB eq, toxicidad cancerígena humana con $2.22E+04$ Kg 1,4-DCB eq y calentamiento global con $4.39E+05$ kg CO₂ eq; esto se debe que al momento de introducir los datos del inventario para esta etapa se requiere de consumo de diésel que es un elemento crucial y hace que estas categorías se incrementen respecto a la otras y también por la fabricación de estos vehículos para el uso del transporte que en su mayoría son camiones compactadores; además, se realizó la estimación de la ruta del transporte de los residuos sólidos, que por las distancias recorridas hay un mayor consumo de energías no renovables y generando más emisiones de GEI. **Por lo tanto, aceptamos la hipótesis alternativa y rechazamos la hipótesis nula.**

Tabla 20. Contrastación de prueba de hipótesis en la etapa de recolección y transporte

Etapa de recolección y transporte											
Ítem	Categoría de Impacto Ambiental	Unidad	Resultado	Media	Mediana	Distribución	Hipótesis nula	Hipótesis alternativa	Prueba	Sig.	Decisión
1	Eutrofización de agua dulce	kg P eq	3.67E+01	3.4013E+01	2.8987E+01	No normal	La mediana es igual a 0.00 E+00	La mediana es diferente a 0.00 E+00	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	0.00	Rechace la hipótesis nula.
2	Calentamiento global	kg CO ₂ eq	4.39E+05	2.7548E+05	2.7355E+05	No normal	La mediana es igual a 0.00 E+00	La mediana es diferente a 0.00 E+00	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	0.00	Rechace la hipótesis nula.
3	Toxicidad cancerígena humana	kg 1,4-DCB	2.22E+04	2.4144E+04	2.0233E+04	No normal	La mediana es igual a 0.00 E+00	La mediana es diferente a 0.00 E+00	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	0.00	Rechace la hipótesis nula.
4	Radiación ionizante	kBq Co-60 eq	7.43E+03	8.3108E+03	5.5084E+03	No normal	La mediana es igual a 0.00 E+00	La mediana es diferente a 0.00 E+00	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	0.00	Rechace la hipótesis nula.
5	Uso de suelo	m ² a crop eq	1.40E+04	9.7580E+03	8.7811E+03	No normal	La mediana es igual a 0.00 E+00	La mediana es diferente a 0.00 E+00	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	0.00	Rechace la hipótesis nula.
6	Ozono estratosférico	kg CFC-11 eq	1.55E-01	1.1355E-01	1.0700E-01	No normal	La mediana es igual a 0.00 E+00	La mediana es diferente a 0.00 E+00	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	0.00	Rechace la hipótesis nula.
7	Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	1.62E+03	1.0475E+03	1.0367E+03	No normal	La mediana es igual a 0.00 E+00	La mediana es diferente a 0.00 E+00	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	0.00	Rechace la hipótesis nula.
8	Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DCB eq	6.15E+06	3.8929E+06	3.8451E+06	No normal	La mediana es igual a 0.00 E+00	La mediana es diferente a 0.00 E+00	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	0.00	Rechace la hipótesis nula.

Nota: Se procesaron los datos con el software OpenLCA y SPSS

Contrastación con la hipótesis específica 2

- **H0:** La etapa de valorización en el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales no permite ser cuantificado en términos de impactos ambientales, 2021.
- **H1:** La etapa de valorización en el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales permite ser cuantificado en términos de impactos ambientales, 2021.

En contrastación con la hipótesis específica 2, se evaluaron los resultados obtenidos del análisis de Monte Carlos de un total de 299 datos que al ser procesados mediante la prueba de normalidad de Kolmogorov – Smirnof se obtuvo las distribuciones a las cuales corresponden estas categorías de impacto (ver **Tabla 18**), una vez obtenido ello se procedió a validar la hipótesis mediante la prueba paramétrica de T-student y la prueba no paramétrica de rangos por signo de Wilcoxon; las cuales corresponden respectivamente a distribución normal y no normal, donde se estableció que para determinar si el ACV es eficiente en cuantificar impactos ambientales, la media (\bar{x}) o la mediana(\tilde{x}) deberá ser diferente de cero. A efectos de cálculo se estableció lo siguiente:

Prueba paramétrica de T-student:

- Ho: $\bar{x} = 0$; La media es igual a 0, no existe diferencias entre la media de la muestra y la media hipotética.
- Ha: $\bar{x} \neq 0$; La media es diferente de 0, existe diferencias entre la media de la muestra y la media hipotética.

Prueba no paramétrica de Wilcoxon:

- Ho: $\tilde{x} = 0$; La mediana es igual a 0, no existe diferencias entre la mediana de la muestra y la mediana hipotética.
- Ha: $\tilde{x} \neq 0$; La mediana es diferente de 0, existe diferencias entre la mediana de la muestra y la mediana hipotética.

Según lo obtenido del SPSS (ver **Tabla 21**) se obtuvo que tiene una significancia menor a $p < 0.05$, por lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa para todas las categorías de impacto en la etapa de la Valorización del MRSM; la cual confirma la eficiencia de la técnica del ACV para determinación del impacto en estas ocho categorías. Se obtuvo que los valores más representativos son ecotoxicidad terrestre con $4.67E+06$ kg 1,4-DCB eq, toxicidad cancerígena humana con $-2.09E+04$ Kg 1,4-DCB eq y la categoría de impacto de calentamiento global tuvo un resultado de $-1.98 E+05$ kg CO₂ eq, estos valores reflejan que a pesar de realizar la valorización son categorías de impacto que tienden a estar próximo a salir positivos como es el caso de agotamiento de ozono estratosférico con valor de -0.06 kg CFC-11 eq, y esto se debería a que se realizó la estimación de la ruta del transporte de los residuos sólidos valorizables y, en consecuencia, hay gases que son emitidos al ambiente. **Por lo tanto, aceptamos la hipótesis alternativa y rechazamos la hipótesis nula.**

Tabla 21. *Contrastación de prueba de hipótesis en la etapa de valorización*

Etapa de valorización											
Ítem	Categoría de Impacto Ambiental	Unidad	Resultado	Media	Mediana	Distribución	Hipótesis nula	Hipótesis alternativa	Prueba	Sig.	Decisión
1	Eutrofización de agua dulce	kg P eq	-7.23E+01	-9.6836E+01	-9.2226E+01	No normal	La mediana es igual a 0.00 E+00	La mediana es diferente a 0.00 E+00	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	0.00	Rechace la hipótesis nula.
2	Calentamiento global	kg CO ₂ eq	-1.98E+05	-2.0553E+05	-2.0507E+05	Normal	La media es igual 0.00 E+00	La media es diferente a 0.00 E+00	Prueba T-student aplicado para una muestra	0.00	Rechace la hipótesis nula.
3	Toxicidad cancerígena humana	kg 1,4-DCB	-2.09E+04	-3.9478E+04	-3.2805E+04	No normal	La mediana es igual 0.00 E+00	La mediana es diferente a 0.00 E+00	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	0.00	Rechace la hipótesis nula.
4	Radiación ionizante	kBq Co-60 eq	-2.21E+05	-4.0481E+05	-2.3189E+05	No normal	La mediana es igual 0.00 E+00	La mediana es diferente a 0.00 E+00	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	0.00	Rechace la hipótesis nula.
5	Uso de suelo	m ² a crop eq	-7.91E+04	-8.7166E+04	-8.6752E+04	Normal	La media es igual 0.00 E+00	La media es diferente a 0.00 E+00	Prueba T-student aplicado para una muestra	0.00	Rechace la hipótesis nula.
6	Ozono estratosférico	kg CFC-11 eq	-6.34E-02	-7.4620E-02	-7.3983E-02	No normal	La mediana es igual 0.00 E+00	La mediana es diferente a 0.00 E+00	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	0.00	Rechace la hipótesis nula.
7	Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	-8.23E+02	-8.7796E+02	-8.7525E+02	No normal	La mediana es igual 0.00 E+00	La mediana es diferente a 0.00 E+00	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	0.00	Rechace la hipótesis nula.
8	Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DCB eq	-1.46E+06	-2.0876E+06	-1.9916E+06	No normal	La mediana es igual 0.00 E+00	La mediana es diferente a 0.00 E+00	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	0.00	Rechace la hipótesis nula.

Nota: Se procesaron los datos con el software OpenLCA y SPSS

Contrastación con la hipótesis específica 3

- **H0:** La etapa de disposición final en el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales no permite ser cuantificado en términos de impactos ambientales, 2021.
- **H1:** La etapa de disposición final en el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales permite ser cuantificado en términos de impactos ambientales, 2021.

En contrastación con la hipótesis específica 3, se evaluaron los resultados obtenidos del análisis de Monte Carlos de un total de 299 datos que al ser procesados mediante la prueba de normalidad de Kolmogorov – Smirnos^f se obtuvo las distribuciones a las cuales corresponden estas categorías de impacto (ver **Tabla 19**), una vez obtenido ello se procedió a validar la hipótesis mediante la prueba paramétrica de T-student y la prueba no paramétrica de rangos por signo de Wilcoxon; las cuales corresponden respectivamente a distribución normal y no normal, donde se estableció que para determinar si el ACV es eficiente en cuantificar impactos ambientales, la media (\bar{x}) o la mediana(\tilde{x}) deberá ser diferente de cero. A efectos de cálculo se estableció lo siguiente:

Prueba paramétrica de T-student:

- Ho: $\bar{x} = 0$; La media es igual a 0, no existe diferencias entre la media de la muestra y la media hipotética.
- Ha: $\bar{x} \neq 0$; La media es diferente de 0, existe diferencias entre la media de la muestra y la media hipotética.

Prueba no paramétrica de Wilcoxon:

- Ho: $\tilde{x} = 0$; La mediana es igual a 0, no existe diferencias entre la mediana de la muestra y la mediana hipotética.
- Ha: $\tilde{x} \neq 0$; La mediana es diferente de 0, existe diferencias entre la mediana de la muestra y la mediana hipotética.

Según lo obtenido del SPSS (ver **Tabla 22**) se obtuvo que tiene una significancia menor a $p < 0.05$, por lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa para todas las categorías de impacto en la etapa de la Valorización del MRSM; la cual confirma la eficiencia de la técnica del ACV para determinación del impacto en estas ocho categorías, que se tiene en el manejo de los residuos sólidos cuando se realiza la disposición final dándose resultados perjudiciales al ambiente, siendo los valores más representativos de Calentamiento Global con $1.44E+07$ kg CO_2 eq. y agotamiento de ozono estratosférico $1.38E+01$ kg CFC-11 eq por etapa del MRSM.

Por ende, estos valores de la disposición final es una medida de mitigación al manejo inadecuado de residuos sólidos, las condiciones de infraestructura en las que se realizaron y los GEI que emanan no contribuyen en su totalidad en el manejo adecuado de RSM, pero se puede destacar a la categoría por manejo de RSM a ecotoxicidad terrestre $-9.90E+04$ kg 1,4-DCB eq, toxicidad cancerígena humana $-5.48E+02$ kg 1,4-DCB eq y calentamiento global $1.44E+07$ kg CO_2 eq. Y esto se debería que hay nuevos mecanismos que se tienen en la infraestructura de residuos sólidos y ya no hay contacto directo que puedan generar grandes daños a la salud de la población, sino con la utilización de maquinaria en el área de trabajo. **Por lo tanto, aceptamos la hipótesis alternativa y rechazamos la hipótesis nula.**

Tabla 22. Contrastación de prueba de hipótesis en la etapa de disposición final

Etapa de disposición final											
Ítem	Categoría de Impacto Ambiental	Unidad	Resultado	Media	Mediana	Distribución	Hipótesis nula	Hipótesis alternativa	Prueba	Sig.	Decisión
1	Eutrofización de agua dulce	kg P eq	- 2.4457E+00	- 5.0655E+00	- 3.5499E+00	No normal	La mediana es igual a 0.00 E+00	La mediana es diferente a 0.00 E+00	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	0.00	Rechace la hipótesis nula.
2	Calentamiento global	kg CO ₂ eq	1.4383E+07	1.4381E+07	1.4381E+07	Normal	La media es igual 0.00 E+00	La media es diferente a 0.00 E+00	Prueba T-student aplicado para una muestra	0.00	Rechace la hipótesis nula.
3	Toxicidad cancerígena humana	kg 1,4-DCB	- 5.4775E+02	- 1.4904E+03	- 1.2681E+03	No normal	La mediana es igual 0.00 E+00	La mediana es diferente a 0.00 E+00	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	0.00	Rechace la hipótesis nula.
4	Radiación ionizante	kBq Co-60 eq	- 1.6812E+04	- 1.7058E+04	- 1.6848E+04	No normal	La mediana es igual 0.00 E+00	La mediana es diferente a 0.00 E+00	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	0.00	Rechace la hipótesis nula.
5	Uso de suelo	m ² a crop eq	- 1.4812E+03	- 1.6686E+03	- 1.6142E+03	No normal	La media es igual 0.00 E+00	La media es diferente a 0.00 E+00	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	0.00	Rechace la hipótesis nula.
6	Ozono estratosférico	kg CFC-11 eq	1.3823E+01	1.3811E+01	1.3816E+01	No normal	La mediana es igual 0.00 E+00	La mediana es diferente a 0.00 E+00	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	0.00	Rechace la hipótesis nula.
7	Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	2.2217E+02	2.1109E+02	2.1292E+02	No normal	La mediana es igual 0.00 E+00	La mediana es diferente a 0.00 E+00	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	0.00	Rechace la hipótesis nula.
8	Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DCB eq	- 9.9039E+04	- 1.5029E+05	- 1.2910E+05	No normal	La mediana es igual 0.00 E+00	La mediana es diferente a 0.00 E+00	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	0.00	Rechace la hipótesis nula.

Nota: Se procesaron los datos con el software OpenLCA y SPSS

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

Yadav y Samadder (2018) realizaron un estudio sobre “A critical review of the life cycle assessment studies on solid waste management in Asian countries” **[Una revisión crítica de los estudios de evaluación del ciclo de vida sobre la gestión de residuos sólidos en países asiáticos]**, presenta como resultado que los escenarios más utilizados en contribución con el ambiente son el compostaje con un 52% y el reciclaje con un 25%, y entre estas alternativas el reciclaje es la opción con una mínima emisión de GEI .Teniendo una similitud en la etapa de valorización para el MRSM tanto para el compostaje y reciclaje , eso se ve representado en las categorías de impactos determinados en el ACV en esta investigación donde los datos para la valorización salieron beneficiosos.

Demir y Taşkın (2020) en su investigación titulada “Life cycle Environmental and energy impact assessment of sustainable urban municipal solid waste collection and transportation strategies” **[Evaluación del impacto ambiental y energético del ciclo de vida de las estrategias sostenibles de recolección y transporte de residuos sólidos municipales urbanos]**, evaluó del impacto ambiental y energético de la recolección y transporte de un total de 11 municipios distritales de la provincia de Kayseri Se obtuvo que para los diferentes escenarios, donde para la categoría de Potencial de Calentamiento Global el escenario 01 cuenta con 2.50 E+02 kg CO_2 eq. En cambio, para el otro escenario 02 tiene un valor de 4.00 E+02 kg CO_2 eq. eq estos valores se obtuvieron de la etapa de recolección y transporte. Por lo tanto, esta investigación también se resalta esta categoría de impacto con un valor 1.46E+07 kg CO_2 eq. mucho mayor y todo ello varía por la infraestructura y conocimiento técnico. Además, (Bovea et al. 2016) resaltan en la investigación “**Aplicación de la metodología de análisis de ciclo de vida para evaluar el desempeño ambiental de sistemas de gestión de residuos en Iberoamérica**” que, en la etapa de recogida y transporte, el combustible es el que genera mayor impacto en todas las categorías de impacto.

Según (Tello Espinoza et al. 2010) en el “**Informe Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe**”, destaca que la disposición final en el manejo de los residuos sólidos urbanos son los más usados para la disposición final de los residuos, pero que sus impactos no son amigables al ambiente por no contar sistemas de tratamientos adicionales. En esta investigación también se tiene impactos que afectan al ambiente, en especial del potencial del cambio climático con $1.46 \text{ E}+07 \text{ kg } CO_2 \text{ eq.}$ en la etapa de disposición final que forma parte del manejo de los residuos sólidos municipales.

6.3. Responsabilidad ética

La presente investigación ha sido elaborada para determinar la importancia de aplicar el análisis de ciclo de vida en el manejo de los residuos municipales, por ello, los autores de la tesis realizada somos responsables del contenido de la investigación, siendo auténtica en su análisis, evaluación e interpretación con respecto a otras investigaciones. Siguiendo los lineamientos de la Universidad Nacional del Callao para que obtener el título profesional Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales bajo el “**CÓDIGO DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**”, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 260-2019-CU, y el “**REGLAMENTO DE PROPIEDAD INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**”, aprobado por Resolución Rectoral N° 1206-2019-R.-CALLAO.

VII. CONCLUSIONES

- El Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales permite ser cuantificado en términos de categoría de impacto ambiental de punto medio. En los cuales se obtuvieron que los impactos más representativos fueron la Ecotoxicidad terrestre con $4.67 \text{ E}+06 \text{ kg } 1,4\text{-DCB eq}$, el Calentamiento global con $1.46 \text{ E}+07 \text{ Kg } \text{CO}_2 \text{ eq}$ y la Toxicidad cancerígena humana $1.06 \text{ E}+03 \text{ Kg } 1,4\text{-DCB eq}$ que son los resultados para las tres etapas de manejo de residuos sólidos evaluadas. Siendo las etapas de Recolección y transporte y disposición final las que más impacto en comparación a la valorización.
- La etapa de recolección y transporte permite ser cuantificado mediante el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Municipales, obteniéndose impactos más dañinos dados por la ecotoxicidad terrestre con $6.15 \text{ E}+06 \text{ kg } 1,4\text{-DCB eq}$, toxicidad cancerígena humana con $2.22 \text{ E}+04 \text{ Kg } 1,4\text{-DCB eq}$ y Calentamiento global con $4.39 \text{ E}+05 \text{ kg } \text{CO}_2 \text{ eq}$, debido a que los impactos están asociados al recorrido de los vehículos, el tipo de combustible, capacidad de carga del vehículo, y las emisiones generadas.
- La etapa de valorización permite ser cuantificado mediante el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Municipales, obteniendo impactos beneficiosos, que se reflejan en todas las categorías de impacto, pero los más contribuyentes son las categorías de impacto de ecotoxicidad terrestre con $4.67 \text{ E}+06 \text{ kg } 1,4\text{-DCB eq}$, toxicidad cancerígena humana con $-2.09 \text{ E}+04 \text{ Kg } 1,4\text{-DCB eq}$ y la categoría de impacto de calentamiento global tuvo un resultado de $-1.98 \text{ E}+05 \text{ kg } \text{CO}_2 \text{ eq}$, ya que reincorpora al sistema materia prima que podrá ser reutilizada; a su vez, la etapa de valorización representa solo un 0.9 % del total de residuos generados en todo el distrito de Bellavista.

- La etapa de disposición final permite ser cuantificada mediante el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Municipales, obteniéndose impactos al ambiente como calentamiento global con $1.44 \text{ E}+07 \text{ Kg } CO_2$ eq contribuyendo con el ambiente e impactos con valores negativos en ecotoxicidad terrestre con $-9.90 \text{ E}+04 \text{ kg } 1,4\text{-DCB}$ eq, y toxicidad cancerígena humana $-5.48 \text{ E}+02 \text{ kg } 1,4\text{-DCB}$ eq. A pesar, de que se realiza aprovechamiento energético en el relleno sanitario y se genera electricidad de un promedio de 425.19 MWh el impacto de los RSM es dañino.

VIII. RECOMENDACIONES

Las siguientes recomendaciones van dirigidas a los tomadores de decisiones en gestión ambiental e investigadores que tengan interés en un manejo adecuado de los residuos sólidos municipal.

- El análisis de ciclo de vida demostró que la etapa de valorización en el manejo de residuos sólidos municipales genera un impacto beneficioso en el ambiente a pesar de ser un porcentaje menor a la totalidad de los residuos. Por ello, se recomienda seguir aplicando nuevos tratamientos a los residuos orgánicos e inorgánicos y esto debe ir de la mano con estrategias ambientales que sean medibles y cuantificables ya que hay varias categorías de impacto que se deben analizar no solo Cambio Climático.
- Se recomienda ampliar la investigación en otros distritos en el manejo de residuos municipales para desarrollar mejoras en las alternativas ambientales de los RSM y así dar facilidades a los tomadores de decisiones para llegar a un consenso. Además, tener un alcance a mayor profundidad y no tener limitaciones en la investigación por la dificultad de obtención de la disponibilidad de datos de flujos de referencias de los residuos sólidos municipales.
- Se recomienda seguir empleando la herramienta del análisis de ciclo de vida como método de estudio en residuos sólidos municipales con softwares más sofisticados en la obtención de impactos ambientales relacionados con los residuos sólidos municipales. Además, se motiva a los investigadores a seguir profundizando en investigaciones para crear bases de datos nacionales, como los que ya lo vienen realizando algunas entidades como PeruLCA y así se obtendrán valores más verídicos en investigaciones.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNSTAD SARAIVA, A., SOUZA, R.G. y VALLE, R.A.B., 2017. Comparative lifecycle assessment of alternatives for waste management in Rio de Janeiro – Investigating the influence of an attributional or consequential approach. *Waste Management*, vol. 68, pp. 701-710. ISSN 18792456. DOI 10.1016/j.wasman.2017.07.002.
- BHADA-TATA, P. y HOORNWEG, D., 2016. Solid Waste and Climate Change. *State of the World*. S.I.: Island Press/Center for Resource Economics, pp. 239-255.
- BOVEA, M.D., CRUZ SOTELO, S.E., MERCANTE, I., COUTINHO NÓBREGA, C., ELJAIEK URZOLA MÓNICA y IBÁÑEZ FORÉS, V., 2016. Aplicación de la metodología de análisis de ciclo de vida para evaluar el desempeño ambiental de sistemas de gestión de residuos en Iberoamérica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 32, no. Especial Residuos Sólidos, pp. 23-46. ISSN 01884999. DOI 10.20937/RICA.2016.32.05.03.
- CAPUZ RIZO, S., GÓMEZ NAVARRO, T., VIVANCOS BONO, J.L., VIÑOLES CEBOLLA, R., LÓPEZ GARCÍA, R., FERRER GISBERT, P. y BASTANTE CECA, J., 2004. *Ecodiseño, ingeniería del Ciclo de Vida para el desarrollo de productos sostenibles*. s/n. Valencia: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia. ISBN 84-9705-191-2.
- CARTER, L.J. y KINNEY, C.A., 2018. Terrestrial Ecotoxicity. *Health Care and Environmental Contamination*. S.I.: Elsevier, pp. 69-85.
- CARVAJAL ROMERO, H., GARCÍA ÁLVAREZ, M. teresa y TEJEIRO ÁLVAREZ, M., 2021. Evolución de la política ambiental en la gestión de residuos. , vol. 13, pp. 1-11. ISSN 2218-3620.
- CATALAN CAMPILLO, E., 2019. *Aplicación del análisis de ciclo de vida a tecnologías emergentes de valorización de residuos orgánicos: El caso de la fermentación en estado sólido (FES)*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.
- CEPAL, 2019. Informe de avance cuatrienal sobre el progreso y los desafíos regionales de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en América Latina y el Caribe. [en línea]. Santiago: Disponible en: www.cepal.org/apps.
- CEPAL, 2021. Economía circular en América Latina y el Caribe :Oportunidad para una recuperación transformadora. [en línea]. S.I.: Disponible en: www.cepal.org/apps.

- COTRINA CABELLO, G., TAYPE LANDEO, O. y ORE ARECHE, F., 2020. Manejo integral de residuos sólidos para minimizar la contaminación del ambiente en el distrito de Panao, Huánuco, Perú. *Ambiente y Desarrollo*, vol. 24, no. 46, pp. 1-10. ISSN 0121-7607. DOI 10.11144/javeriana.ayd24-46.mirs.
- CREMIATO, R., MASTELLONE, M.L., TAGLIAFERRI, C., ZACCARIELLO, L. y LETTIERI, P., 2018. Environmental impact of municipal solid waste management using Life Cycle Assessment: The effect of anaerobic digestion, materials recovery and secondary fuels production. *Renewable Energy*, vol. 124, pp. 180-188. ISSN 18790682. DOI 10.1016/j.renene.2017.06.033.
- CRISTÓBAL, J., VÁZQUEZ-ROWE, I., MARGALLO, M., ITA-NAGY, D., ZIEGLER-RODRIGUEZ, K., LASO, J., RUIZ-SALMÓN, I., KAHHAT, R. y ALDACO, R., 2022. Climate change mitigation potential of transitioning from open dumpsters in Peru: Evaluation of mitigation strategies in critical dumpsites. *Science of The Total Environment* [en línea], vol. 846, pp. 157295. ISSN 00489697. DOI 10.1016/j.scitotenv.2022.157295. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969722043935>.
- CURRAN, M., HELLWEG, S. y BECK, J., 2014. Is there any empirical support for biodiversity offset policy? *Ecological Applications*. S.I.:
- DAS, S., LEE, S.H., KUMAR, P., KIM, K.H., LEE, S.S. y BHATTACHARYA, S.S., 2019. Solid waste management: Scope and the challenge of sustainability. *Journal of Cleaner Production*, vol. 228, pp. 658-678. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.04.323.
- DE BAAN, L., ALKEMADE, R. y KOELLNER, T., 2013. Land use impacts on biodiversity in LCA: A global approach. *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 18, no. 6, pp. 1216-1230. ISSN 09483349. DOI 10.1007/s11367-012-0412-0.
- DE MIGUEL, C., MARTÍNEZ K., PEREIRA M. y KOHOUT M., 2021. Economía circular en América Latina y el Caribe: oportunidad para una recuperación transformadora. [en línea]. Santiago: Disponible en: www.cepal.org/apps.
- DEFENSORÍA DEL PUEBLO, 2019. ¿Dónde va nuestra basura? [en línea]. Lima: [Consulta: 5 agosto 2022]. Disponible en: <https://www.defensoria.gob.pe/informes/informe-defensorial-no-181-donde-va-nuestra-basura/>.
- DEMIR, N. y TAŞKIN, A., 2020. Life cycle environmental and energy impact assessment of sustainable urban municipal solid waste

collection and transportation strategies. *Sustainable Cities and Society*, vol. 61. ISSN 22106707. DOI 10.1016/j.scs.2020.102339.

DEXTRE MINAYA, R.M., 2020. *Análisis de Ciclo de Vida (ACV) del Manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) por la empresa operadora de residuos COMMITEL S.A.C., Lima, Periodo 2017-2019*. Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

DISTRITO BELLAVISTA, D. de, 2018. PLAN LOCAL DE SEGURIDAD CIUDADANA CONVIVENCIA SOCIAL. . S.I.:

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2019. Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change. [en línea]. S.I.: [Consulta: 20 agosto 2022]. Disponible en: <https://emf.thirdlight.com/link/dcijanpohgkd-oblthh/@/preview/2>.

ELSHOUT, P.M.F., VAN ZELM, R., KARUPPIAH, R., LAURENZI, I.J. y HUIJBREGTS, M.A.J., 2014. A spatially explicit data-driven approach to assess the effect of agricultural land occupation on species groups. *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 19, no. 4, pp. 758-769. ISSN 16147502. DOI 10.1007/s11367-014-0701-x.

EPA, 2020. Mejores prácticas para la gestión de los residuos sólidos: Una Guía para los responsables de la toma de decisiones en los países en vías de desarrollo. [en línea]. Estados Unidos: [Consulta: 21 agosto 2022]. Disponible en: https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-02/documents/swm_guide-spanish-reducedfilesize_pubnumber_october.pdf.

EUROPEAN COMMISSION, JOINT RESEARCH CENTRE y INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND SUSTAINABILITY, 2010. *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook -General guide for Life Cycle Assessment -Detailed guidance*. First edition. Luxembourg: Publications Office of the European Union. ISBN 978-92-79-19092-6.

FERRONATO, N., MORESCO, L., GUISBERT LIZARAZU, G.E., GORRITTY PORTILLO, M.A., CONTI, F. y TORRETTA, V., 2021. Sensitivity analysis and improvements of the recycling rate in municipal solid waste life cycle assessment: Focus on a Latin American developing context. *Waste Management*, vol. 128, pp. 1-15. ISSN 18792456. DOI 10.1016/j.wasman.2021.04.043.

GILARDINO, A., ROJAS, J., MATTOS, H., LARREA-GALLEGOS, G. y VÁZQUEZ-ROWE, I., 2017. Combining operational research and Life Cycle Assessment to optimize municipal solid waste collection in a

- district in Lima (Peru). *Journal of Cleaner Production*, vol. 156, pp. 589-603. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.04.005.
- GRAZIANI, P., 2018. Economía circular e innovación tecnológica en residuos sólidos: Oportunidades en América Latina. , pp. 1-92.
- HAYE, S., SLAVEYKOVA, V.I. y PAYET, J., 2007. Terrestrial ecotoxicity and effect factors of metals in life cycle assessment (LCA). *Chemosphere*, vol. 68, no. 8, pp. 1489-1496. ISSN 00456535. DOI 10.1016/j.chemosphere.2007.03.019.
- HELMES, R.J.K., HUIJBREGTS, M.A.J., HENDERSON, A.D. y JOLLIET, O., 2012. Spatially explicit fate factors of phosphorous emissions to freshwater at the global scale. *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 17, no. 5, pp. 646-654. ISSN 09483349. DOI 10.1007/s11367-012-0382-2.
- HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ COLLADO, C., BAPTISTA LUCIO, M. del P., MÉNDEZ VALENCIA, S. y MENDOZA TORRES, C.P., 2014. *Metodología de la investigación*. 6. México: s.n. ISBN 978-1-4562-2396-0.
- HUIJBREGTS, M.A.J., STEINMANN, Z.J.N., ELSHOUT, P.M.F., STAM, G., VERONES, F., VIEIRA, M., ZIJP, M., HOLLANDER, A. y VAN ZELM, R., 2016. ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 22, no. 2, pp. 138-147. ISSN 16147502. DOI 10.1007/s11367-016-1246-y.
- INACAL, 2019. *Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices*. [en línea]. 26 noviembre 2019. Perú: s.n. NTP-ISO 14044:2019. Disponible en: www.inacal.gob.pe.
- INEI, 2018. Provincia Constitucional del Callao, Resultados definitivos: tomo I. [en línea]. Lima: [Consulta: 11 agosto 2022]. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1580/07TOMO_01.pdf.
- IQBAL, A., LIU, X. y CHEN, G.H., 2020. *Municipal solid waste: Review of best practices in application of life cycle assessment and sustainable management techniques*. 10 agosto 2020. S.l.: Elsevier B.V.
- ISO, 2006. *Gestión ambiental - Análisis del ciclo de vida - Principios y marco de referencia*. 2006. S.l.: s.n.
- JOOS, F., ROTH, R., FUGLESTVEDT, J.S., PETERS, G.P., ENTING, I.G., VON BLOH, W., BROVKIN, V., BURKE, E.J., EBY, M., EDWARDS, N.R., FRIEDRICH, T., FRÖLICHER, T.L., HALLORAN, P.R., HOLDEN, P.B., JONES, C., KLEINEN, T., MACKENZIE, F.T.,

- MATSUMOTO, K., MEINSHAUSEN, M., PLATTNER, G.K., REISINGER, A., SEGSCHNEIDER, J., SHAFFER, G., STEINACHER, M., STRASSMANN, K., TANAKA, K., TIMMERMANN, A. y WEAVER, A.J., 2013. Carbon dioxide and climate impulse response functions for the computation of greenhouse gas metrics: A multi-model analysis. *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 13, no. 5, pp. 2793-2825. ISSN 16807316. DOI 10.5194/acp-13-2793-2013.
- KAHHAT, R., MARGALLO, M., ZIEGLER-RODRIGUEZ, K., VÁZQUEZ-ROWE, I., ALDACO, R. y IRABIEN, Á., 2019. Enhancing waste management strategies in Latin America under a holistic environmental assessment perspective: A review for policy support. *Science of the Total Environment*, vol. 689, pp. 1255-1275. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.06.393.
- KAZA, S. y BHADA-TATA, P., 2018. Decision Maker's Guides for Solid Waste Management Technologies. [en línea]. Washington, D.C: [Consulta: 1 noviembre 2022]. Disponible en: https://www.pseau.org/outils/ouvrages/world_bank_decision_maker_s_guides_for_solid_waste_management_technologies_2018.pdf.
- KAZA, S., YAO, L., BHADA-TATA, P. y VAN WOERDEN, F., 2018. *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050* [en línea]. 2. Washington: s.n. [Consulta: 23 septiembre 2022]. ISBN 978-1-4648-1347-4. Disponible en: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>.
- KHANDELWAL, H., DHAR, H., THALLA, A.K. y KUMAR, S., 2018. Application of life cycle assessment in municipal solid waste management: A worldwide critical review. *Journal of Cleaner Production*, vol. 209, pp. 1-70. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2018.10.233.
- KULCZYCKA, J., LELEK, Ł., LEWANDOWSKA, A. y ZAREBSKA, J., 2015. Life cycle assessment of municipal solid waste management – comparison of results using different LCA models. *Polish Journal of Environmental Studies*, vol. 24, no. 1, pp. 125-140. ISSN 12301485. DOI 10.15244/pjoes/26960.
- LAURENT, A., BAKAS, I., CLAVREUL, J., BERNSTAD, A., NIERO, M., GENTIL, E., HAUSCHILD, M.Z. y CHRISTENSEN, T.H., 2014. Review of LCA studies of solid waste management systems - Part I: Lessons learned and perspectives. *Waste Management*, vol. 34, no. 3, pp. 573-588. ISSN 0956053X. DOI 10.1016/j.wasman.2013.10.045.
- LAURENT, A., CLAVREUL, J., BERNSTAD, A., BAKAS, I., NIERO, M., GENTIL, E., CHRISTENSEN, T.H. y HAUSCHILD, M.Z., 2014. Review of LCA studies of solid waste management systems - Part II:

Methodological guidance for a better practice. *Waste Management*, vol. 34, no. 3, pp. 589-606. ISSN 18792456. DOI 10.1016/j.wasman.2013.12.004.

LOPES SILVA, D.A., DA SILVA MORIS, V.A., MORO PIEKARSKI, C., DIOGO APARECIDO LOPES SILVA, U., OLIVEIRA NUNES, A. y OLIVEIRA RODRIGUES, T., 2017. How important is the LCA software tool you choose Comparative results from GaBi, openLCA, SimaPro and Umberto. [en línea], pp. 1-7. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/318217178>.

LOPES SILVA, D.A., NUNES, A.O., PIEKARSKI, C.M., DA SILVA MORIS, V.A., DE SOUZA, L.S.M. y RODRIGUES, T.O., 2019. Why using different Life Cycle Assessment software tools can generate different results for the same product system? A cause-effect analysis of the problem. *Sustainable Production and Consumption*, vol. 20, pp. 304-315. ISSN 23525509. DOI 10.1016/j.spc.2019.07.005.

MINAM, 2010. *Compendio de la legislación ambiental peruana* [en línea]. Lima: s.n. Disponible en: www.minam.gob.pe.

MINAM, 2016a. Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. [en línea]. Lima: [Consulta: 21 agosto 2022]. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-gestion-integral-residuos-solidos>.

MINAM, 2016b. Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos. . Lima:

MINAM, 2017. *Reglamento del Decreto Legislativo N°1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos* [en línea]. 21 diciembre 2017. Perú: s.n. DECRETO SUPREMO N° 014-2017-MINAM. Disponible en: www.minam.gob.pe.

MINAM, 2022. Guía para el cumplimiento de la Meta del Programa de Incentivos a la Mejora de la Gestión Municipal correspondiente al año 2022 «Implementación de un sistema integrado de manejo de residuos sólidos municipales». [en línea]. Magdalena del Mar : Disponible en: www.gob.pe/mef.

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE BELLAVISTA, 2018. Plan Local de Seguridad Ciudadana y Convivencia Social del distrito de Bellavista. . S.l.:

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE BELLAVISTA, 2019. Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales 2019. . Bellavista:

ORIHUELA PAREDES, J.C., 2018. Un Análisis de la Eficiencia de la Gestión Municipal de Residuos Sólidos en el Perú y sus

Determinantes. *Instituto Nacional de Estadística e Informática*, pp. 1-82.

- RODRÍGUEZ JIMÉNEZ, A. y PÉREZ JACINTO, A.O., 2017. Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, no. 82, pp. 175-195. ISSN 0120-8160. DOI 10.21158/01208160.n82.2017.1647.
- ROMERO RODRÍGUEZ, B.I., 2003. El Análisis del Ciclo de Vida y la gestión ambiental. *IIE*, pp. 91-97.
- ROSENBAUM, R.K., BACHMANN, T.M., GOLD, L.S., HUIJBREGTS, M.A.J., JOLLIET, O., JURASKE, R., KOEHLER, A., LARSEN, H.F., MACLEOD, M., MARGNI, M., MCKONE, T.E., PAYET, J., SCHUHMACHER, M., VAN DE MEENT, D. y HAUSCHILD, M.Z., 2008. USEtox - The UNEP-SETAC toxicity model: Recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in Life Cycle Impact Assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 13, no. 7, pp. 532-546. ISSN 09483349. DOI 10.1007/s11367-008-0038-4.
- ROY, P.O., AZEVEDO, L.B., MARGNI, M., VAN ZELM, R., DESCHÊNES, L. y HUIJBREGTS, M.A.J., 2014. Characterization factors for terrestrial acidification at the global scale: A systematic analysis of spatial variability and uncertainty. *Science of the Total Environment*, vol. 500-501, pp. 270-276. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2014.08.099.
- SÖZER, H. y SÖZEN, H., 2020. Waste capacity and its environmental impact of a residential district during its life cycle. *Energy Reports*, vol. 6, pp. 286-296. ISSN 23524847. DOI 10.1016/j.egyr.2020.01.008.
- STOCKER, T.F., QIN, D., PLATTER, G.-K., TIGNOR, M., ALLEN, S.K., BOSCHUNG, J., NAUELS, A., XIA, Y., BEX, V. y MIDGLEY, P.M., 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York: Intergovernmental Panel on Climate Change. ISBN 9789291691388.
- SUPO, F., HUGO, C. y CAVERO, N., 2014. Fundamentos teóricos y procedimentales de la investigación científica en ciencias sociales: como diseñar y formular tesis de maestría y doctorado. . S.I.:
- TELLO ESPINOZA, P., MARTÍNEZ ARCE, E., DAZA, D., SOULIER FAURE, M. y TERRAZA, T., 2010. Informe Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe. *OPS/BID/AIDIS*, pp. 1-164.

- TURNER, D.A., WILLIAMS, I.D. y KEMP, S., 2016. Combined material flow analysis and life cycle assessment as a support tool for solid waste management decision making. *Journal of Cleaner Production*, vol. 129, pp. 234-248. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2016.04.077.
- VALDERRAMA MENDOZA, S., 2015. *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica*. Lima: s.n. ISBN 9786123028787.
- VALE, M.M. y PIRES, A.P.F., 2017. Climate change in South America. *Encyclopedia of the Anthropocene*, vol. 1-5, pp. 205-208. DOI 10.1016/B978-0-12-809665-9.09753-6.
- VÁZQUEZ ROWE, I., MARGALLO, M., ALDACO, R., ZIEGLER RODRIGUEZ, K. y KAHHAT, R., 2019. Transitioning from open dumpsters to landfilling in Peru: Environmental benefits and challenges from a life-cycle perspective. *Journal of Cleaner Production*, vol. 229, pp. 989-1003. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.05.015.
- VÁZQUEZ-ROWE, I., KAHHAT, R., LARREA-GALLEGOS, G. y ZIEGLER-RODRIGUEZ, K., 2019. *Peru's road to climate action: Are we on the right path? The role of life cycle methods to improve Peruvian national contributions*. 1 abril 2019. S.l.: Elsevier B.V.
- WMO, 2010. SCIENTIFIC ASSESSMENT OF OZONE DEPLETION:2010. . Ginebra:
- YADAV, P. y SAMADDER, S.R., 2018. *A critical review of the life cycle assessment studies on solid waste management in Asian countries*. 1 junio 2018. S.l.: Elsevier Ltd.
- ZIEGLER-RODRIGUEZ, K., MARGALLO, M., ALDACO, R., VÁZQUEZ-ROWE, I. y KAHHAT, R., 2019. Transitioning from open dumpsters to landfilling in Peru: Environmental benefits and challenges from a life-cycle perspective. *Journal of Cleaner Production*, vol. 229, pp. 989-1003. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.05.015.

X. ANEXOS

ANEXO I:

Tabla 23. Matriz de consistencia

Título: Cuantificación del Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales, distrito de Bellavista, 2021.						AUTORES: - Banny Iveth Cuba Gutierrez - Miguel Alfonso Nieves Amengual			
Problema General	Objetivos General	Hipótesis General	Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Índice	Metodología
¿Cómo será la cuantificación del Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales del distrito de Bellavista, en términos de impactos ambientales, 2021?	Cuantificar el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales del distrito de Bellavista, en términos de impactos ambientales, 2021.	El Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos del distrito de Bellavista, permite ser cuantificado en términos de impactos ambientales, 2021.		Herramienta utilizada para cuantificar los beneficios del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales		Etapa de recolección y transporte	Distancia recorrida	TM Residuos Sólido Municipal * Km recorrido	Método: - Hipotético deductivo
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas							
¿Cómo será la etapa de recolección y transporte en el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales del distrito de Bellavista, en términos de impactos ambientales, 2021?	Analizar la etapa de recolección y transporte en el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales del distrito de Bellavista, en términos de impactos ambientales, 2021.	La etapa de recolección y transporte en el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales permite ser cuantificado en términos de impactos ambientales, 2021.	Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales	Herramienta que permite cuantificar los impactos ambientales de todo el sistema de Manejo de los Residuos Sólidos Municipales para cada una de sus etapas operativas.		Etapa de valorización	Cantidad de Residuos sólidos valorizados	TM de residuos valorizados	Técnica: - Análisis documental - Análisis de Ciclo de Vida (NTP-ISO 14044:2019)
¿Cómo será la etapa de valorización en el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales del distrito de Bellavista, en términos de impactos ambientales, 2021?	Analizar la etapa de valorización en el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales del distrito de Bellavista, en términos de impactos ambientales, 2021.	La etapa de valorización en el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales permite ser cuantificado en términos de impactos ambientales, 2021.							
¿Cómo será la etapa de disposición final en el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales del distrito de Bellavista, en términos de impactos ambientales, 2021?	Analizar la etapa de disposición final en el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales del distrito de Bellavista, en términos de impactos ambientales, 2021.	La etapa de disposición final en el Análisis de Ciclo de Vida del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales permite ser cuantificado en términos de impactos ambientales, 2021.		(Ferronato et al., 2021; Turner et al., 2016)		Etapa de disposición final	Cantidad de Residuos sólidos dispuestos	TM de residuos Sólidos Municipal dispuesto	Instrumento: - Ficha de recolección de datos - Software Open LCA

ANEXO II

	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO	Código: ACV.RE.001
	FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES	Revision: 01
	ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES	Fecha: julio 2022
TESIS:		Página 1 de 1
IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS UNITARIOS		
Fecha		
Lugar		
Elaborado por:		
Representante de la empresa:		
1.MAPA DE PROCESOS		
		
Fuente: MINAM-SIGERSOL		
2.DESCRIPCIÓN DE PROCESOS DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS		
CÓDIGO	ETAPA DE MANEJO DE RESIDUO SÓLIDO	
RE-TR	RECOLECCIÓN Y TRASNPORTE	
DESCRIPCIÓN		
MATERIALES Y EQUIPOS		
ENTRADAS		
SALIDAS		
VR	VALORIZACIÓN	
DESCRIPCIÓN		
MATERIALES Y EQUIPOS		
ENTRADAS		
SALIDAS		
TRA	TRATAMIENTO	
DESCRIPCIÓN		
MATERIALES Y EQUIPOS		
ENTRADAS		
SALIDAS		
DI	DISPOSICIÓN FINAL	
DESCRIPCIÓN		
MATERIALES Y EQUIPOS		
ENTRADAS		
SALIDAS		
Observaciones		

Figura 16. Ficha de recolección de datos: Identificación de procesos unitarios

ANEXO III

	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO		Código: ACV.RE.002
	FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES		Revision: 01
	ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES		Fecha: julio 2022
			Página 1 de 1
TESIS:			
INVENTARIO DE MATERIALES Y EQUIPOS			
Fecha:			
Lugar:			
Elaborado por:			
Representante de la empresa:			
1.DATOS INFORMATIVOS			
Elemento:		Materiales de construcción:	
Cantidad:			
Proceso unitario asociado:		Dimensión del equipo:	
Descripción técnica:		Ficha técnica de referencia:	
2.DATOS TÉCNICOS			
Marca:		Peso bruto (T):	
Modelo:		Peso útil (T):	
Versión:		Norma ambiental:	
Año:		Combustible:	
Placa /Serie:		kilometros recorridos:	
3.Registro fotográfico			
Observaciones:			

Figura 17. Ficha de recolección de datos: Inventario de materiales y equipos.

ANEXO IV

	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO		Código: ACV.RE.003
	FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES		Revision: 01
	ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES		Fecha: julio 2022
			Página 1 de 1
TESIS:			
RECOPIACIÓN DE DATOS DE GESTIÓN OPERACIONAL			
Fecha:			
Lugar:			
Elaborado por:			
Representante de la empresa:			
1.DATOS INFORMATIVOS			
Consumo mensual de energia	Cantidad	Unidad	Tipo de documento
ene-21		KWh	Factura de pago
...		KWh	Factura de pago
dic-21		KWh	Factura de pago
Consumo mensual de agua	Cantidad	Unidad	Tipo de documento
ene-21		m ³	Factura de pago
...		m ³	Factura de pago
dic-21		m ³	Factura de pago
Consumo mensual de combustible(especificar)	Cantidad	Unidad	Tipo de documento
ene-21		Galones	Factura de pago
...		Galones	Factura de pago
dic-21		Galones	Factura de pago
Cantidad de residuos solidos municipal generado	Cantidad	Unidad	Tipo de documento
ene-21		T	
...		T	
dic-21		T	
RSM tratado	Cantidad	Unidad	Tipo de documento
ene-21		T	
...		T	
dic-21		T	
Observaciones:			

Figura 18. Ficha de recolección de datos: Recopilación de datos de gestión operacional.

ANEXO V

CARTA DE PRESENTACIÓN

MG.

LUIS ENRIQUE LOZANO VIEYTES

Presente:

Asunto: VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS A TRAVÉS DE JUCIO DE EXPERTOS

Nos es muy grato comunicarnos con usted para poder expresarle nuestros saludos, y así mismo hacer de su conocimiento que requerimos validar los instrumentos con los cuales recogeremos la información necesaria para poder desarrollar nuestra tesis con la cual optaremos para el grado de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao.

El nombre del título de nuestra investigación es "**EVALUACIÓN DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES PARA DETERMINACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL EN EL DISTRITO DE BELLAVISTA, 2021**"; siendo imprescindible contar con su aprobación como docente especializado en el tema de investigación para poder aplicar los instrumentos en mención hemos considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia en temas ambientales y de investigación en ciclo de vida y similares.

El expediente de validación que le hacemos llegar contiene:

- Carta de presentación
- Definición conceptual y operacional de las variables
- Matriz de operacionalización de las variables
- Informe de opinión de expertos de instrumentos de investigación
- Fichas de datos de inventarios

Expresándole nuestros sentimientos de respeto y consideración nos despedimos de usted, no sin antes agradecerle por la atención que dispense a la presente.

Atentamente,



BACH. MIGUEL ALFONSO
NIEVES AMENGUAL



BACH. BANNY IVETH
CUBA GUTIERREZ

Figura 19. Validación de instrumento de recolección de datos.

INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

1. DATOS GENERALES

- a. Apellidos y nombres del experto validador: LUIS ENRIQUE LOZANO VIEYTES
- b. Especialidad del experto validador: INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES
- c. Grado académico de experto validador: MAESTRO EN GESTIÓN AMBIENTAL
- d. Cargo o institución donde labora: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
- e. Título de investigación: **"EVALUACIÓN DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES PARA DETERMINACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL EN EL DISTRITO DE BELLAVISTA, 2021"**
- f. Nombres y apellidos de los tesisistas:
 - Banny Iveth Cuba Gutierrez
 - Miguel Alfonso Nieves Amengual

2. CRITERIOS DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

N°	CRITERIOS	INDICADORES	DEFICIENCIA	REGULAR	BUENA	MUY BUENA	EXCELENTE
			00-20%	21-40%	41-60%	61-80%	81-100%
1	Claridad	Esta formulado con lenguaje apropiado y específico					95%
2	Objetividad	Esta expresado en conductas observables.					95%
3	Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología					95%
4	Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad					95%
5	Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de las estrategias.					95%
6	Consistencia	Basados en aspectos teóricos-Científicos.					95%
7	Coherencia	Entre las variables, dimensiones e indicadores.					95%
8	Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico.					95%
9	Pertenencia	El instrumento es funcional para el propósito de la investigación					95%
PROMEDIO DE VALIDACIÓN							95%

3. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

INSTRUMENTOS	SUFICIENTE	MEDIANAMENTE SUFICIENTE	INSUFICIENTE
Ficha de Datos de Inventario 1	SUFICIENTE	-	-
Ficha de Datos de Inventario 2	SUFICIENTE	-	-
Ficha de Datos de Inventario 3	SUFICIENTE	-	-

OBSERVACIONES:

- Sin observaciones.

La evaluación se realiza de todos los items de la primera variable

4. PROMEDIO DE VALORACIÓN: 95%

5. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento puede ser aplicado, tal como está laborado.
- El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado.



Mg. Luis Enrique
Lozano Vieytes

CARTA DE PRESENTACIÓN

MG.

RICHARD JOAO HUAPAYA PARDAVÉ

Presente:

Asunto: VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS A TRAVÉS DE JUCIO DE EXPERTOS

Nos es muy grato comunicarnos con usted para poder expresarle nuestros saludos, y así mismo hacer de su conocimiento que requerimos validar los instrumentos con los cuales recogeremos la información necesaria para poder desarrollar nuestra tesis con la cual optaremos para el grado de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao.

El nombre del título de nuestra investigación es "**EVALUACIÓN DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES PARA DETERMINACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL EN EL DISTRITO DE BELLAVISTA, 2021**"; siendo imprescindible contar con su aprobación como docente especializado en el tema de investigación para poder aplicar los instrumentos en mención hemos considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia en temas ambientales y de investigación en ciclo de vida y similares.

El expediente de validación que le hacemos llegar contiene:

- Carta de presentación
- Definición conceptual y operacional de las variables
- Matriz de operacionalización de las variables
- Informe de opinión de expertos de instrumentos de investigación
- Fichas de datos de inventarios

Expresándole nuestros sentimientos de respeto y consideración nos despedimos de usted, no sin antes agradecerle por la atención que dispense a la presente.

Atentamente,



BACH. MIGUEL ALFONSO
NIEVES AMENGUAL



BACH. BANNY IVETH
CUBA GUTIERREZ

INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

1. DATOS GENERALES

- a. Apellidos y nombres del experto validador: RICHARD HUAPAYA PARDAVÉ
- b. Especialidad del experto validador: INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES
- c. Grado académico de experto validador: MAGÍSTER EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS
- d. Cargo o institución donde labora: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
- e. Título de investigación: ***"EVALUACIÓN DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES PARA DETERMINACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL EN EL DISTRITO DE BELLAVISTA, 2021"***
- f. Nombres y apellidos de los tesisistas:
 - Banny Iveth Cuba Gutierrez
 - Miguel Alfonso Nieves Amengual

2. CRITERIOS DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

N°	CRITERIOS	INDICADORES	DEFICIENCIA	REGULAR	BUENA	MUY BUENA	EXCELENTE
			00-20%	21-40%	41-60%	61-80%	81-100%
1	Claridad	Esta formulado con lenguaje apropiado y específico					X
2	Objetividad	Esta expresado en conductas observables.					X
3	Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología					X
4	Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad					X
5	Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de las estrategias.					X
6	Consistencia	Basados en aspectos teóricos-Científicos.					X
7	Coherencia	Entre las variables, dimensiones e indicadores.					X
8	Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico.					X
9	Pertenencia	El instrumento es funcional para el propósito de la investigación					X
PROMEDIO DE VALIDACIÓN							100

ASPECTOS DE VALIDACIÓN

INSTRUMENTOS	SUFICIENTE	MEDIANAMENTE SUFICIENTE	INSUFICIENTE
Ficha de Datos de Inventario 1	X	-	-
Ficha de Datos de Inventario 2	X	-	-
Ficha de Datos de Inventario 3	X	-	-

OBSERVACIONES:

- Sin observaciones.

La evaluación se realiza de todos los items de la primera variable

3. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

4. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento puede ser aplicado, tal como está laborado.
- El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado.



Mg. Richard Joao
Huapaya Pardavé

CARTA DE PRESENTACIÓN

ING

JUAN CARLOS VÁSQUEZ LAZO

Presente:

Asunto: VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS A TRAVÉS DE JUCIO DE EXPERTOS

Nos es muy grato comunicarnos con usted para poder expresarle nuestros saludos, y así mismo hacer de su conocimiento que requerimos validar los instrumentos con los cuales recogeremos la información necesaria para poder desarrollar nuestra tesis con la cual optaremos para el grado de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao.

El nombre del título de nuestra investigación es "**EVALUACIÓN DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES PARA DETERMINACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL EN EL DISTRITO DE BELLAVISTA, 2021**"; siendo imprescindible contar con su aprobación como docente especializado en el tema de investigación para poder aplicar los instrumentos en mención hemos considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia en temas ambientales y de investigación en ciclo de vida y similares.

El expediente de validación que le hacemos llegar contiene:

- Carta de presentación
- Definición conceptual y operacional de las variables
- Matriz de operacionalización de las variables
- Informe de opinión de expertos de instrumentos de investigación
- Fichas de datos de inventarios

Expresándole nuestros sentimientos de respeto y consideración nos despedimos de usted, no sin antes agradecerle por la atención que dispense a la presente.

Atentamente,



BACH. MIGUEL ALFONSO
NIEVES AMENGUAL



BACH. BANNY IVETH
CUBA GUTIERREZ

INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

1. DATOS GENERALES

- a. Apellidos y nombres del experto validador: JUAN CARLOS VÁSQUEZ LAZO
- b. Especialidad del experto validador: INGENIERO INDUSTRIAL
- c. Grado académico de experto validador: ESPECIALIZACIÓN EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y GESTIÓN DE MEDIO AMBIENTE (RESIDUOS SÓLIDOS Y AGUA)
- d. Cargo o institución donde labora: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
- e. Título de investigación: **"EVALUACIÓN DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES PARA DETERMINACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL EN EL DISTRITO DE BELLAVISTA, 2021"**
- f. Nombres y apellidos de los tesisistas:
 - Banny Iveth Cuba Gutierrez
 - Miguel Alfonso Nieves Amengual

2. CRITERIOS DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

N°	CRITERIOS	INDICADORES	DEFICIENCIA	REGULAR	BUENA	MUY BUENA	EXCELENTE	
			00-20%	21-40%	41-60%	61-80%	81-100%	
1	Claridad	Esta formulado con lenguaje apropiado y específico					X	
2	Objetividad	Esta expresado en conductas observables.					X	
3	Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología				X		
4	Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad				X		
5	Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de las estrategias.				X		
6	Consistencia	Basados en aspectos teóricos-Científicos.					X	
7	Coherencia	Entre las variables, dimensiones e indicadores.				X		
8	Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico.				X		
9	Pertenencia	El instrumento es funcional para el propósito de la investigación					X	
PROMEDIO DE VALIDACIÓN								80

ASPECTOS DE VALIDACIÓN

INSTRUMENTOS	SUFICIENTE	MEDIANAMENTE SUFICIENTE	INSUFICIENTE
Ficha de Datos de Inventario 1	X	-	-
Ficha de Datos de Inventario 2	X	-	-
Ficha de Datos de Inventario 3	X	-	-

OBSERVACIONES:

- Sin observaciones.

La evaluación se realiza de todos los ítems de la primera variable

3. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

PROMEDIO = 80

4. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento puede ser aplicado, tal como está laborado.
- El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado.



ING. JUAN CARLOS VÁSQUEZ LAZO

ANEXO VI

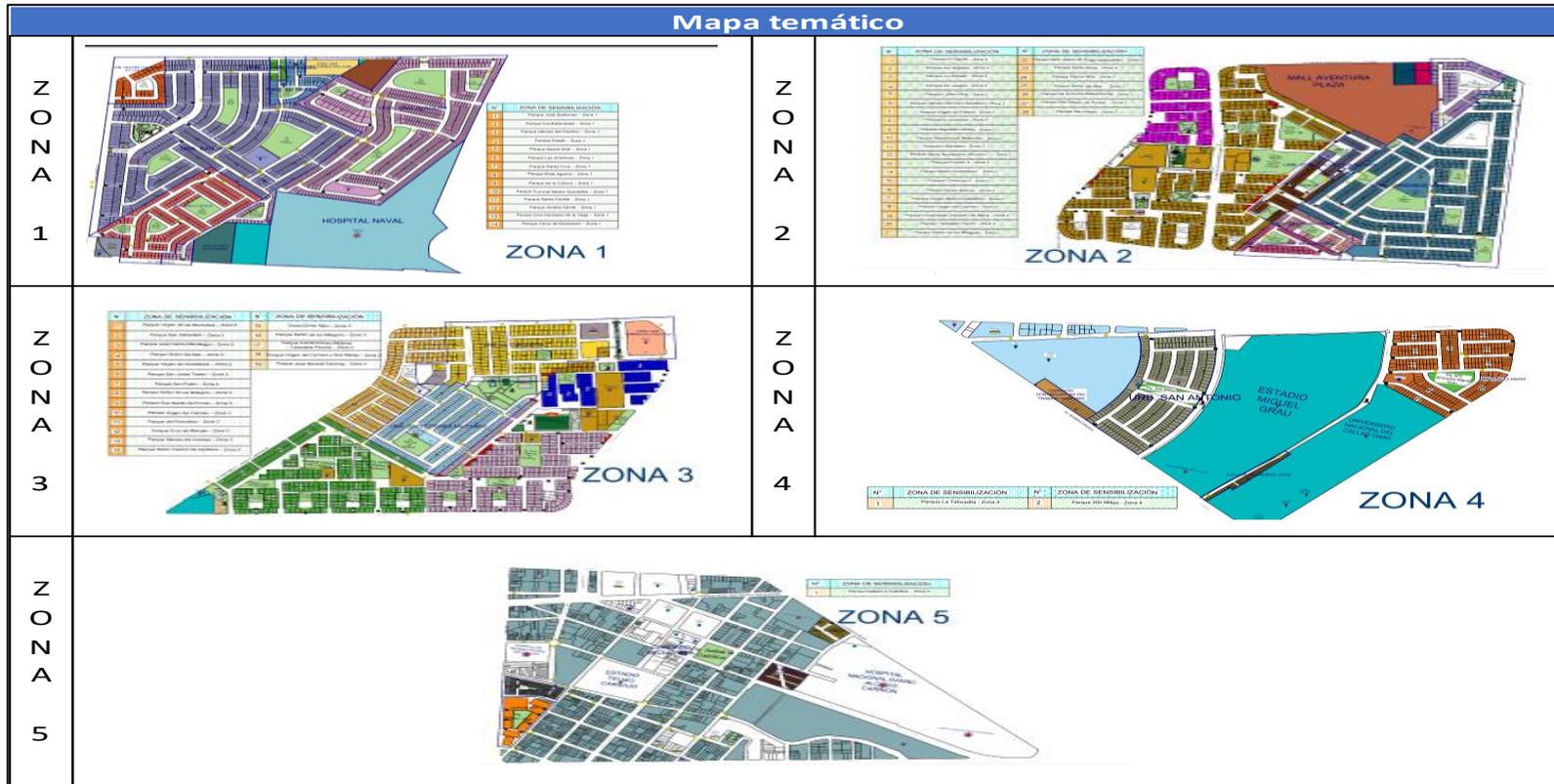


Figura 20. Mapa de las zonas para la recolección, transporte y valorización de residuos sólidos. Tomado de la Municipalidad de Bellavista.

Nota: El distrito de Bellavista cuenta con áreas sectorizadas para realizar la ruta de la recolección de RSM.

ANEXO VII

	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO		Código: ACV.RE.002
	FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES		Revision: 01
	ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES		Fecha: julio 2022
			Página 1 de 1
TESIS:			
INVENTARIO DE MATERIALES Y EQUIPOS			
Fecha:	30/8/2022		
Lugar:	Planta de valorización de residuos orgánicos		
Elaborado por:	Banny Iveth Cuba Gutierrez		
Representante:	Área de limpieza pública-Ing.Alex Vallejo		
1.DATOS INFORMATIVOS			
Elemento:	Camion compactador	Materiales de construcción:	-
Cantidad:	1		
Proceso unitario asociado:	Disposición final	Dimensión del equipo:	-
Descripción técnica:		Ficha técnica de referencia:	-
2.DATOS TÉCNICOS			
Marca:	Mercedes Benz	Peso bruto (T):	-
Modelo:	Atego 1623	Peso útil (T):	11.087Kg
Versión:	1	Norma ambiental:	Euro III
Año:		Combustible:	Diesel
Placa /Serie:	EGJ-606	kilometros recorridos:	-
3.Registro fotográfico			
			
Observaciones:			

Figura 21. Ficha llenada en campo para el inventario del ACV

ANEXO VIII



Figura 22. Fotografía de la etapa de recolección y transporte de residuos sólidos municipales.



Figura 23. Fotografía de la etapa de valorización residuos sólidos municipales orgánicos.



Figura 24. Fotografía de la etapa de valorización residuos sólidos municipales inorgánicos.



Figura 25. Fotografía de la etapa disposición final de los residuos sólidos, camión grúa camino al relleno sanitario Modelo del Callao.