



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Análisis de ciclo de vida y los impactos ambientales negativos del compost producido en la  
Municipalidad de El Agustino, 2020.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Ambiental

**AUTORES:**

García Yauricasa, Juan Jimmy (ORCID: 0000-0001-5770-9940)

Llerena Saldaña, Josselyn (ORCID: 0000-0003-1569-4773)

**ASESOR:**

Mg. Ugarte Alvan, Carlos Alfredo (ORCID: 0000-0001-6017-1192)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Sistemas de Gestión Ambiental

LIMA – PERÚ

2020

## **DEDICATORIA**

Agradecer primero a Dios, por haber permitido llegar hasta aquí hoy, por darme fuerza y salud para llevar a cabo mis metas y objetivos

A mi madre, por ser la persona que me ha acompañado durante todo mi proyecto estudiantil y de vida, que ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles.

a mi padre, por haberme apoyado en cada uno de mis pasos, por la motivación constante que permitieron que hoy en día sea la persona que soy y por su amor incondicional.

A mis hermanos, por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

Al Mg. Ugarte Alvan, Carlos Alfredo que es Asesor de este trabajo, por su dedicación y paciencia y al Dr. Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio por brindarnos siempre su apoyo.

**Josselyn Llerena Saldaña.**

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi padre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones.

A mi madre, que me dio la vida, el cual, a pesar de haberla perdido a muy temprana edad, ha estado siempre cuidándome y guiándome desde el cielo, siento que estás conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí.

A mi hermano, por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuesta a escucharme y ayudarme en cualquier momento. Por último, quiero dedicar este trabajo a mi abuela, gracias a su apoyo y aliento incondicional puedo culminar mis sueños.

Al Mg. Ugarte Alvan, Carlos Alfredo que es Asesor de este trabajo, por su dedicación y paciencia, sus consejos nos ayudaron a hacer una investigación mucho mejor y al Dr. Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio por siempre brindarnos siempre su apoyo.

**Juan Jimmy Garcia Yauricasa.**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad, brindándonos paciencia y sabiduría para culminar con éxito nuestras metas propuestas.

A nuestras familia, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado.

Agradecemos a nuestra Universidad Cesar Vallejo, a los docentes de la Escuela de Ingeniería Ambiental por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión.

Al Dr. Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio por siempre brindarnos su apoyo moral, tener paciencia y brindar consejos oportunos para el bien y que contribuyeron a la culminación de esta investigación.

Finalmente, de manera especial quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Mg. Ugarte Alvan, Carlos Alfredo asesor de nuestro proyecto de investigación quien, con su dirección, conocimiento, enseñanza, paciencia, y su rectitud como docente, permitió el desarrollo de este trabajo.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS.

RESUMEN .....	VII
ABSTRACT.....	VIII
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	5
III. METODOLOGÍA.....	13
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	13
3.2. Variables y operacionalización.....	14
3.3 POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO.....	16
3.3.1. Población .....	16
3.3.2. Muestra .....	16
3.3.3. Muestreo .....	16
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos. ....	16
3.5. Procedimiento.....	18
3.5.1. Descripción de la fabricación de compost.....	19
3.5.2. Definición de alcance y objetivos.....	19
3.5.3. Análisis de inventario .....	22
3.6 MÉTODO DE ANÁLISIS DE DATOS.....	26
3.6.1. Método Analítico.....	26
3.6.2. ReCiPe .....	26
IV. RESULTADOS .....	26
4.1. Inventario de ciclo de vida.....	26
4.2. Resultados de los impactos ambientales.....	27
4.2.1. Potencial de calentamiento global. ....	27

4.2.2. Disminución de la capa de ozono. ....	28
4.2.3. Toxicidad humana. ....	29
4.2.4. Formación de oxidantes fotoquímicos.....	30
4.2.5. Formación de materia particulada .....	31
4.2.6. Radiación ionizante .....	31
4.2.7. Acidificación terrestre .....	32
4.2. 8. Eutrofización de agua dulce y marina. ....	33
4.2.9. Ecotoxicidad de agua dulce y marina. ....	33
4.2.10. Ecotoxicidad terrestre .....	34
4.2.11. Uso de suelo.....	35
4.2.12. Disminución de cantidad de agua dulce .....	36
4.2.13. Disminución de recursos minerales .....	36
4.2.14. Disminución de combustibles fósiles .....	37
4.2.15. Salud humana .....	38
4.2.16. Ecosistemas .....	38
4.2.17. Aumento del coste de recursos. ....	39
V. DISCUSIÓN.....	40
VI. CONCLUSIONES.....	41
VII. RECOMENDACIONES .....	42
REFERENCIAS .....	45

## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	14
Tabla 2. Caracterización de residuos aprovechables .....	22
Tabla 3. Recorrido de transporte. ....	23
Tabla 4. Composiciones de materia prima. ....	24
Tabla 5. Entradas al sistema de producción .....	27

## ÍNDICE DE FIGURAS.

Fig. 1. Composición de residuos sólidos globales.....	2
Fig. 2. Generación de residuos sólidos en Perú para el 2019. ....	3
Fig. 3. Esquema de procedimiento de ACV .....	18
Fig. 4. Mapa de planta de valorización de residuos orgánicos. ....	20
Figura 5. Sistema de producción del compost.....	21
Fig. 6. Potencial de calentamiento global.....	28
Fig. 7. Disminución de la capa de ozono.....	29
Fig. 8. Toxicidad humana no cancerígena.....	30
Fig. 9 Toxicidad humana cancerígena.....	30
Fig. 10. Formación de oxidantes fotoquímicos. ....	31
Fig. 11. Formación de material particulado.....	31
Fig.12. Radiación Ionizante.....	32
Fig.13.Acidificación terrestre. ....	33
Fig.14. Eutrofización de agua dulce y marina. ....	34
Fig. 15. Ecotoxicidad de agua dulce y marina.....	35
Fig. 16. Ecotoxicidad terrestre.....	35
Fig. 17. Uso de suelo. ....	36
Fig. 18. Disminución de cantidad de agua dulce.....	36
Fig. 19. Disminución de recursos minerales.....	37
Fig. 20. Diminución de combustibles fósiles. ....	38
Fig. 21. Salud humana. ....	38
Fig. 22. Ecosistemas. ....	39
Fig. 23. Aumento del costo de recursos.....	40

## RESUMEN

El objetivo principal de la presente investigación fue analizar el ciclo de vida del compost, se reconoció que los impactos ambientales negativos que conlleva la producción del compost, la magnitud de los impactos ambientales se obtuvieron gracias a la utilización del software OpenLCA la unidad funcional que se utilizó fue el tratamiento de 1 tonelada (t) de residuos orgánicos, Los procesos que generan los mayores impactos ambientales por el ciclo de vida del compost son: apilado y maduración, seguido por volteo y aireación los cuales pertenecen a la parte del compostaje de los residuos orgánicos, el proceso de apilado y maduración mostro los mayores impactos en las categorías de: Potencial de calentamiento global con 1085.59 Kg CO<sub>2</sub> eq, toxicidad humana con 14.03 Kg 1,4-DCB, formación de oxidantes fotoquímicos con 14.03 Kg 1,4-DCB, acidificación terrestre con 39.68 Kg SO<sub>2</sub>, ecotoxicidad terrestre con 1002.87 Kg 1,4-DCB, de la misma forma volteo y aireación mostro los mayores impactos en las categorías de potencial de calentamiento global con 2316.1 Kg CO<sub>2</sub> eq, toxicidad humana con 21.18 Kg 1,4-DCB y acidificación terrestre con 60.24 Kg SO<sub>2</sub> eq.

**Palabras clave:** Compost, análisis de ciclo de vida, categorías de impacto.

## ABSTRACT

The main objective of this research was to analyze the life cycle of compost, it was recognized that the negative environmental impacts that compost production entails, the magnitude of environmental impacts were obtained thanks to the use of the OpenLCA software, the functional unit that is used was the treatment of 1 ton (t) of organic waste. The processes that generate the greatest environmental impacts for the life cycle of compost are: stacking and maturation, followed by turning and aeration, which belong to the composting part of the organic waste, the stacking and maturation process showed the greatest impacts in the categories of: Global warming potential with 1085.59 Kg CO<sub>2</sub> eq, human toxicity with 14.03 Kg 1,4-DCB, formation of photochemical oxidants with 14.03 Kg 1,4-DCB, terrestrial acidification with 39.68 Kg SO<sub>2</sub>, terrestrial ecotoxicity with 1002.87 Kg 1,4-DCB, in the same way turning and aeration showed the greatest impacts in the categories of global warming potential with 2316.1 Kg CO<sub>2</sub> eq, human toxicity with 21.18 Kg 1,4-DCB and terrestrial acidification with 60.24 Kg SO<sub>2</sub> eq.

**Keywords:** Compost, life cycle analysis, impact categories.

## I. INTRODUCCIÓN

La producción de bienes y servicios viene contribuyendo a la contaminación ambiental afectando a la sociedad y la naturaleza (Li et al. 2019) Recientemente ha habido una creciente conciencia de que el problema ambiental es un problema global y cuya solución requiere un enfoque hacia la sostenibilidad (Witjes y Lozano 2016; Zhang, Zhu y Hewings 2017) Por lo anteriormente expuesto es necesario estudiar todo el proceso de producción de un bien y así identificar donde se generan los impactos ambientales negativos, las causas de estos impactos y cuantificar su magnitud.

El interés por preservar el medio ambiente ha ido generando diferentes maneras para evaluar los impactos ambientales producidos por acción antropogénica, una de estas herramientas es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) o Life Cycle Assessment (LCA), tiene como finalidad analizar de forma objetiva, metódica, sistemática y científica, el impacto ambiental originado por un proceso y/o producto durante todo su ciclo de vida completo (Haya 2016), esto permite una mayor comprensión del impacto que genera el producto durante toda su existencia y consolida el ACV como una solución sólida y técnica completa en gestión ambiental moderna (Di Maria, Eyckmans y Van Acker 2020). Los estudios de ACV se han desarrollado para aplicaciones en diferentes áreas, tales como: Medicina, administración, industria, Sistemas de transporte, educación (Coelho y Almeida 2015; LI et al. 2020; Perini et al. 2018; Zhang et al. 2020; Schlanbusch et al. 2016) entre los principales software en la actualidad encontramos algunos que son sistemas totalmente equipados y requieren licencias comerciales costosas como: SimaPro, Gabi y Umberto (Raoufi et al. 2019; Liang et al. 2020) mientras otros son de uso abierto como openLCA (Lopes Silva et al. 2019; Thies et al. 2019; Rezaei, Bulle y Lesage 2019; Pratiwi, Ravier y Genter 2018; Resende, Nolasco y Pacca 2019).

En la presente investigación se utilizó el openLCA cuya primera publicación se da en 2007 por Andreas Ciroth en el trabajo titulado “*ICT for Environmental in Life Cycle Applications openLCA – A new open source software for Life Cycle Assessment*” que sirve como introducción y presenta un nuevo software para LCA de código abierto (Ciroth 2007).

Se utilizó el openLCA para hacer un análisis de ciclo de vida del compost, producto que se

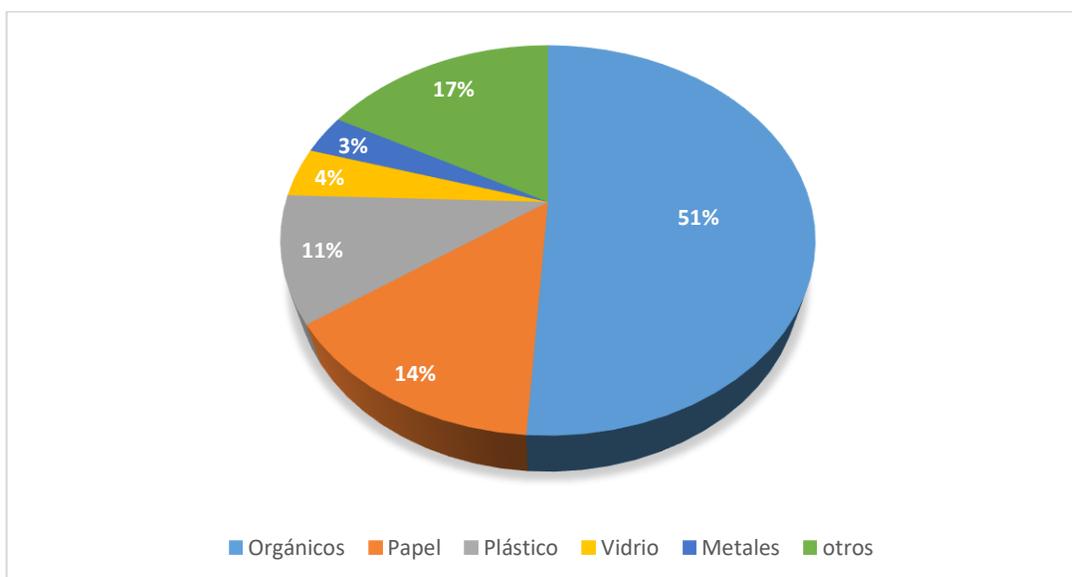
obtiene de los residuos orgánicos que se descomponen de manera controlada normalmente a causa de organismos biológicos (Vaverková et al. 2020).

Los residuos sólidos siguen siendo un grave peligro para la salud humana en los países en desarrollo, toda la región de América Latina aún enfrenta desafíos como la existencia de espacios donde se vierten los residuos de manera descontrolada y las bajas tasas de recuperación de residuos que están por debajo del 4%, además de esto la utilización de otras tecnologías más sofisticadas como la digestión anaerobia aún están rezagadas (Margallo et al. 2019). En un esfuerzo por disminuir el impacto de los miles de toneladas de residuos sólidos que se generan a diario, se han implementado diferentes formas de manejar los desechos tales como: digestión anaerobia, compostaje, incineración e incluso sistemas combinados entre estos (Iqbal, Liu y Chen 2020) saber la composición de los desechos es esencial para aplicar adecuados protocolos y tecnologías de tratamiento de residuos (Powell y Chertow 2019).

La composición de los residuos sólidos globales promedio son: Orgánicos (51%), papel (14.1%), plástico (10.4%), vidrio (4.10%), metales (3.3%) y otros materiales indefinidos (17%) (Margallo et al. 2019). }

Fig. 1.

Composición de residuos solidos globales.

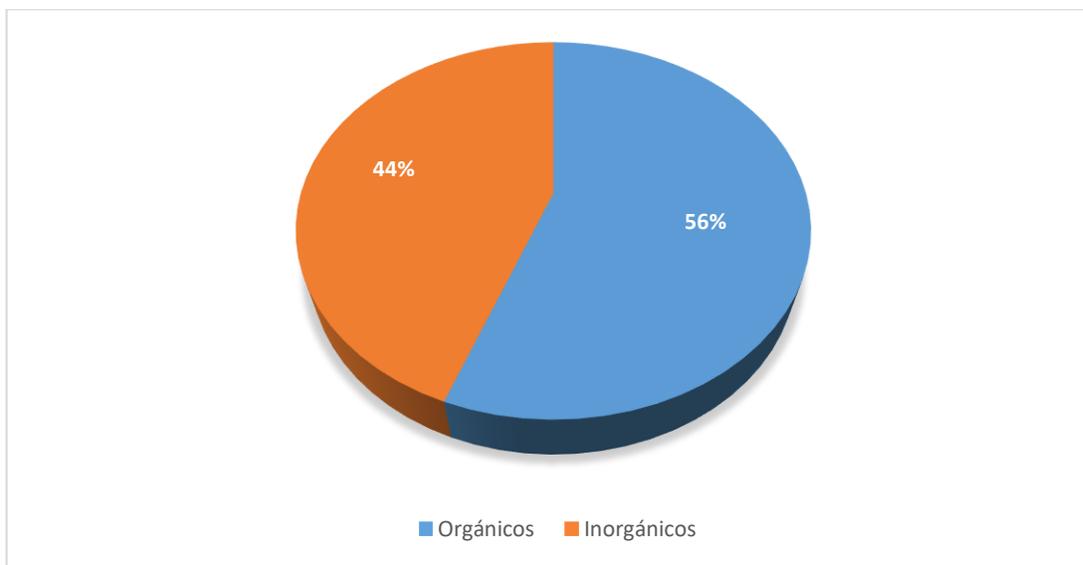


En el Perú se estima que la generación per cápita en el año 2019 fue de 0.625 Kg/hab\*día lo

que generaría una producción de 7 490 446 toneladas entre residuos sólidos Orgánicos e Inorgánicos y 4 175 175 toneladas serían residuos sólidos Orgánicos reaprovechables lo que constituye el 55.74% del total generado en el año 2019 (MINAM 2012).

Fig. 2.

Generación de residuos sólidos en Perú para el 2019.



El compostaje de residuos Orgánicos se está convirtiendo en un elemento clave de la gestión integrada de residuos sólidos. Perú al ser un país en vías de desarrollo de América Latina aún cuenta con pocos centros o plantas de compostaje municipales las cuales no contribuyen significativamente a tratar los volúmenes de residuos cada vez mayores ni tampoco a abastecer la demanda energética nacional y satisfacer las emisiones nacionales de carbono que fueron compromiso en el Acuerdo de París (Silva-Martínez y Sanches-Pereira 2018). El compostaje tiene una serie de ventajas, que incluyen beneficios económicos, mejoras de las propiedades del suelo mediante el uso del compost, reducción del uso de fertilizantes químicos y minimización de la contaminación ambiental (Ballardo et al. 2020). Sin embargo, otros estudios también muestran que los impactos ambientales negativos en la producción del compost son mayores que en otros sistemas de gestión de residuos como la incineración (Jensen, Møller y Scheutz 2016) También se demuestra que los sistemas basados en la digestión anaeróbica superan significativamente el rendimiento del compostaje, especialmente en la categoría de calentamiento global (Edwards et al. 2018)

Es por esto que en nuestra investigación se planteó aplicar un ACV a la producción del Compost producido por la Municipalidad del Agustino para responder a las interrogantes de:

¿Cómo es el ciclo de vida del Compost producido por la Municipalidad de El Agustino? ¿Qué impactos ambientales negativos conlleva la producción de compost por la Municipalidad de El Agustino?, ¿Cuáles son las partes en el ciclo de vida del compost que generan la mayor cantidad de impactos ambientales negativos? y ¿Cuál es la magnitud de los impactos ambientales negativos generados por la Municipalidad de El Agustino en la producción del Compost? De esta manera se logró conocer los beneficios y perjuicios que genera la producción de compost en la Municipalidad de El Agustino, tener clara la información de los impactos ambientales negativos producidos en la Municipalidad de El Agustino nos mostró si es beneficiosa la producción de compost o caso contrario genera mayores perjuicios que beneficios, nos pareció importante este estudio porque mediante los datos obtenidos se podrá optimizar el proceso de producción del compost reevaluando y cambiando los subprocesos donde se identifiquen la mayor cantidad de impactos ambientales negativos y de esta forma disminuir la magnitud con la que se impacta al medio ambiente a causa de la producción de compost en la Municipalidad de El Agustino , además de esto gracias a la utilización del software openLCA se obtendrá una base de datos que servirá de guía para futuras investigaciones de Análisis de Ciclo de Vida.

El objetivo general de esta investigación fue analizar el ciclo de vida del compost utilizando el software openLCA y los objetivos específicos: Identificar los impactos ambientales negativos que conlleva su producción, señalar las partes del ciclo de vida donde se generan la mayor cantidad de impactos ambientales negativos y como último objetivo específico cuantificar la magnitud de los impactos ambientales negativos producidos por la producción de compost en la Municipalidad de El Agustino.

## II. MARCO TEÓRICO

Li et al. (2018) cuantificaron y compararon diferentes estrategias de tratamiento de residuos sólidos orgánicos en la granja, que incluyen digestión anaerobia, compostaje y digestión anaerobia integrada con compostaje. Además Li et al. (2018) usaron la herramienta OpenLCA para realizar el análisis, para este estudio se basaron en la base de datos Ecoinvent 3.2 que proporciona datos sobre el proceso para así tomar decisiones sobre el impacto ambiental de productos, se evaluaron cinco categorías de impacto que son: Potencial de calentamiento global, potencial de acidificación, potencial de eutrofización, potencial de eco toxicidad y agotamiento de recursos; la unidad funcional fue el tratamiento de (1) tonelada de estiércol lácteo. Li et al. (2018) concluyeron que la digestión anaerobia integrada con compostaje mostró los mejores resultados en cuanto a calentamiento global y reducir el uso de recursos, la digestión anaerobia es la opción más favorable en términos de potencial de acidificación, potencial de eutrofización y potencial de eco toxicidad.

Masella et al. (2018) evaluaron la gestión de los residuos en la ciudad de Florencia, Italia durante el año 2015, se recogieron alrededor de 412105 t de residuos, donde 202794 t fueron residuos mixtos y 72540 t fueron orgánicos. Las fracciones se trataron en una planta centralizada de selección-compostaje. Además Masella et al. (2018) usaron el software OpenLCA los datos provienen de la base de datos ELCD core 3 LCI, se calcularon 16 categorías de impacto que son: Acidificación, Cambio climático, Eco toxicidad de agua dulce, Eutrofización de aguas residuales, Toxicidad humana: carcinógenos, Toxicidad humana - no cancerígenos, Ecosistemas de radiación, Radiación radiante - salud humana, Eutrofización marina, Agotamiento del ozono, Partículas / inorgánicos respiratorios, Formación de ozono fotoquímico, Agotamiento de recursos: minerales, fósiles y energías renovables y Agotamiento de recursos -eutrofización terrestre-acuática, la unidad funcional fue un año de tratamiento de residuos orgánicos y mixtos en Florencia. Masella et al. (2018) encontraron que los mayores impactos pertenecen al proceso de transporte de residuos, esto confirma que se puede reducir las cargas ambientales al lograr una mayor eficiencia con vehículos más livianos, motores más eficientes, combustibles mejorados, al mismo tiempo los impactos se reducirán implementando una planta local de tratamiento in situ.

Keng et al. (2020) Realizó una investigación del compostaje a escala comunitaria de alimentos: un estudio de caso respaldado por el análisis de ciclo de vida. Keng et al. (2020) realizó el proyecto de compostaje en la Universidad de Nottingham, Malasia, la metodología que se usa es la de caracterización de la materia prima seguido por la metodología de los estudios de factibilidad realizados que incluyen el análisis de proceso de jerarquía (AHP) y la evaluación del ciclo de vida (ACV) usando como unidad funcional el tratamiento de  $200 \frac{kg}{dia}$  de desechos orgánicos. Como resultado concluyo que para un compostaje exitoso el agente de carga que es un material a base de carbono para agregar densidad o volumen a la pila de compost debe ser mezclado con los desperdicios de alimentos en las relaciones correctas, el método de compostaje para el desperdicio de alimentos es técnicamente factible y socialmente deseable. Asimismo Keng et al. (2020) afirma que es necesario un esfuerzo colaborativo y a largo plazo para el sistema de gestión de residuos de circuito cerrado.

Behrooznia et al. (2018) investigó la sostenibilidad del vertedero y compostaje – vertedero municipal y la gestión de residuos sólidos en el norte de Irán de esta manera comparar el uso de la energía y perfiles ambientales de los dos sistemas de gestión de residuos. Behrooznia et al. (2018) utilizó un enfoque metodológico que sigue cuatro pasos en los cuales se incluye definición del objetivo y el alcance, análisis de recopilación de datos o inventario, evaluación de los indicadores e interpretación de resultados, la unidad funcional se definió como 100 toneladas de residuos sólidos urbanos. Asimismo Behrooznia et al. (2018) encontró que el requerimiento de energía del escenario compostaje- vertedero (CL) fue 29% mayor que el del escenario vertedero (L) para el tratamiento de la misma cantidad de residuos sólidos urbanos (RSU). Transporte, combustible Diésel y maquinarias fueron los principales contribuyentes al consumo total de energía en ambos escenarios.

Jensen, Møller y Scheutz (2016) evaluaron la gestión de los residuos domésticos orgánicos en la frontera entre Dinamarca y Alemania donde se señala grandes diferencias entre sus sistemas pues la región Danesa solo usa incineración para el tratamiento de residuos orgánicos domésticos, mientras la región alemana incluye producción de biogás y compostaje. Jensen, Møller y Scheutz (2016) describieron los sistemas de gestión de residuos orgánicos que usa cada región siendo la principal diferencia que en la región alemana existe

una separación en la fuente y en la región danesa no, la unidad funcional fue el tratamiento de 1 tonelada de desechos orgánicos domésticos que fueron obtenidos principalmente de siete municipios situados cerca de la frontera. De esta manera Jensen, Møller y Scheutz (2016) encontraron que en el balance global el sistema danés es más eficiente que el sistema alemán en 10 de las 14 categorías de impacto evaluadas las cuales son: Calentamiento global, formación de Ozono fotoquímico, acidificación, eutrofización terrestre, eutrofización acuática, eutrofización marina, partículas en suspensión, agotamiento de elementos, agotamiento de recursos fósiles y toxicidad humana cancerosa. Todo esto debido a que el sistema alemán pues no sustituía productos como diésel o electricidad lo que ocasionaba emisiones directas de óxido nitroso. Por otro lado, la planta combinada de compostaje y biogás de la región alemana tuvo el desempeño ambiental más complejo con grandes sustituciones de electricidad y fertilizantes, pero también grandes emisiones de metano, óxido nitroso y amoníaco.

Khandelwal et al. (2019) evaluaron el sistema de gestión de los residuos sólidos municipales en la ciudad de Nagdur, India bajo cuatro escenarios diferentes, compostaje combinado con relleno sanitario, instalación de recuperación de material y compostaje combinado con relleno sanitario, digestión anaerobia combinada con relleno sanitario y compostaje combinado con vertedero, se utilizó la herramienta ACV. Khandelwal et al. (2019) utilizaron un alcance de *“la puerta a la tumba”*, que incluye el transporte de residuos a instalaciones de tratamiento y posterior disposición final de los residuos, la unidad funcional elegida para comparar los escenarios alternativos fue de una tonelada métrica de RSU de Nagdur, India. Khandelwal et al. (2019) encontraron que la combinación del reciclaje con compostaje de la fracción biodegradable y el vertido de residuos es la opción más adecuada, el análisis de sensibilidad también indico que se reducen los impactos ambientales considerablemente al aumentar el reciclaje. Como recomendaciones Khandelwal et al. (2019) afirman que para descubrir una imagen completa del sistema de gestión de residuos sólidos se debe estudiar de manera social, económica y los factores psicológicos.

Mancini, Arzoumanidis y Raggi (2019) evaluaron el impacto ambiental de dos tipos de fracción orgánica que usan técnicas de tratamiento de residuos sólidos con compostaje y digestión anaerobia con post-compostaje. Mancini, Arzoumanidis y Raggi (2019) realizaron

el análisis en una instalación de residuos sólidos municipales, sistema de selección y compostaje que se encuentra en la provincia de L'Aquila. Italia, se evaluó usando la metodología de análisis de ciclo de vida y la unidad funcional fue el tratamiento de 1000 toneladas de residuos orgánicos. Asimismo Mancini, Arzoumanidis y Raggi (2019) encontraron que la digestión anaeróbica con compostaje puede tener un mejor rendimiento ambiental en comparación con únicamente el compostaje, surgieron algunos problemas críticos, principalmente relacionados con la fase de transporte y vertedero de la fracción de chatarra que tienen un importante papel en las categorías de impacto más afectadas. Finalmente Mancini, Arzoumanidis y Raggi (2019) dan como recomendación que para desarrollo de futuros se debe incluir una integración de los resultados con la economía, problemas sociales que se consideran importante para analizar los tres pilares de la sostenibilidad.

Neri et al. (2018) evaluó como los impactos ambientales del compostaje de la planta Compost Romagna ha cambiado como consecuencia de su expansión y adaptación, que paso de utilizar un modelo de compostaje tradicional hasta un sistema anaerobio integrado, el análisis se realizó utilizando datos proporcionados por la empresa. Neri et al. (2018) utilizó el análisis de ciclo de vida como método además de usar el software SimaPRO y el método de análisis ReCiPe, la unidad funcional utilizada fue de una tonelada de desechos que ingresaban a la planta, las entradas y salidas del sistema se refieren al uso de combustibles, lubricantes, transportes, tratamiento y eliminación de desechos sólidos y líquido, así como también emisiones de diversa naturaleza. Asimismo Neri et al. (2018) muestra que hubo una disminución significativa a lo largo de los años, a través de la implementación de un reactor anaeróbico capaz de producir energía renovable a partir de biogás, este procedimiento permite evitar los impactos por fuentes de energía convencionales, lo que originó una sustancial disminución en el impacto de las categorías de agotamiento de combustibles fósiles y cambio climático, cargas ambientales asociadas al transporte de residuos biológicos que afectan al consumo de recursos no renovables así como la emisión de partículas son remarcadas en el estudio, sin embargo, se equilibra con los beneficios potenciales logrados con la eliminación evitada de tales desechos en vertederos. Finalmente Neri et al. (2018) recomienda que se usen estos resultados para cuantificar los beneficios generales derivados

a escala nacional, teniendo en cuenta condiciones territoriales pues son extremadamente diferentes.

Oldfield, White y Holden (2018) analizó a las implicaciones de la transición de una economía lineal donde los residuos no tienen valor y ni son gestionados a una economía circular de “cuna a cuna” donde los residuos se valorizan como un recurso. Oldfield, White y Holden (2018) realizó el estudio desde dos perspectivas de las partes interesadas (i) eliminación de residuos y (ii) valorización de residuos por recuperación de nutrientes. Se consideró el compostaje de dos desechos domésticos: comida desperdiciada y desechos verdes y se usó la unidad funcional de un kilogramo de residuos y además cada desperdicio fue caracterizado en términos de contenido de nutrientes, contenido de carbono y densidad utilizando fuentes de literatura. Oldfield, White y Holden (2018) concluyeron que la unidad funcional y el límite del sistema dependen de los interesados y conduce a diferentes interpretaciones además el enfoque común de utilizar el supuesto de carga cero y una unidad funcional definida en términos de masa de material procesos puede ser engañoso para la valorización de residuos.

Oliveira et al. (2017) examinaron las alternativas de compostaje de los desechos orgánicos generados en la ciudad de Bauru, en el estado São Paulo, analizando la situación actual en la que todos los residuos orgánicos se dispone en el vertedero. Oliveira et al. (2017) utilizaron tres pasos metodológicos, el primero que consistió en la revisión de la literatura sobre compostaje en la base de datos Scopus, Science Direct y Web of Science, el segundo paso fue desarrollar la gestión de la eliminación de residuos orgánicos y se obtuvo información del porcentaje de desechos orgánicos, fracción de residuos recolectados por kilometraje y los costos operativos, todo esto obtenido gracias a la empresa responsable de la recogida de residuos y finalmente el tercer paso consistió en la elaboración del inventario de ciclo de vida utilizando el software IWM-2 el propósito del software es predecir las cargas ambientales de un sistema específico de gestión de residuos con la mayor precisión posible y considerando todas las posibles unidades funcionales, como entradas de desechos , recolección y clasificación de desechos, tratamiento biológico, térmico, relleno sanitario y generación de energía. Asimismo Oliveira et al. (2017) concluyeron que la clasificación de los desechos orgánicos y el transporte con un mayor vehículo cuya capacidad de carga pueda minimizar la distancia total del viaje y sus impactos hacen factible la opción de enviar los residuos de

Bauru a otro municipio con planta de compostaje pues minimizan los impactos económicos y ambientales.

Pace et al. (2018) evalúa el impacto de la digestión anaeróbica, seguido del compostaje de los residuos de alimentos y mezclas de residuos verdes en la producción neta de energía, el potencial de calentamiento global y el escaso uso del agua. Pace et al. (2018) utilizaron el análisis de ciclo de vida para evaluar los impactos ambientales del tratamiento de 1 tonelada métrica de residuos orgánicos a lo largo del proceso haciendo un seguimiento a las entradas y salidas de energía, consumo de materia prima, emisiones y otros desechos en cada etapa del ciclo. Pace et al. (2018) encontraron que el aumento del tiempo para digestión anaeróbica disminuyó el uso de agua y de recursos no renovables, así como una mayor producción de energía neta a partir de la generación de biogás, además la composición de los desechos influyó mucho en el uso de agua, recursos no renovables y renovables. Pace et al. (2018) sugieren para futuras investigaciones estudiar opciones para diferentes tipos de compostaje combinado con digestión anaeróbica.

Pergola et al. (2018) evaluaron la sostenibilidad de la producción de una tonelada de compost de productos lácteos y estiércol de ganado de dos instalaciones agrícolas que operan en el sur de Italia y utilizan diferentes agentes de carga. Pergola et al. (2018) realizaron el análisis usando la evaluación del ciclo de vida, el análisis de energía y el costo del ciclo de vida, utilizaron para calcular los impactos la energía involucrada, el costo de producción de una tonelada de compost que es la unidad funcional y comparar los diferentes tipos de escenarios para el compostaje. De esta forma Pergola et al. (2018) demostraron que la producción de una tonelada de compost en la granja a partir de estiércol tendría bajos impactos y necesita menos de 300 MJ de energía ya sea que se utilizara residuos de poda o paja de maíz como agentes de carga, además los costos de producción son bajos. La producción del compost puede ser una solución al problema del excedente que ofrece el ganado por lo tanto dichos hallazgos pueden usarse como punto de partida para promover estos procesos de compostaje de baja tecnología.

El análisis de ciclo de vida se usa principalmente para estudiar sistemas de productos, también se puede usar para estudiar objetos fabricados por el hombre más complejos como empresas, energía, transporte, sistemas de gestión de residuos, infraestructuras y ciudades,

siempre con una perspectiva de ciclo de vida.(Hauschild, Rosenbaum y Olsen 2017) Normalmente el análisis de ciclo de vida estudia etapas “de la cuna a la tumba”, es decir; estudia el proceso desde el acondicionamiento de las materias primas hasta la gestión última de los residuos, aunque también existen variantes de las etapas que incluyen cuna a puerta y cuna a cuna. La organización internacional de normalización (ISO) tiene una serie dedicada a estándares para ACV, el análisis de ciclo de vida normalmente tiene cuatro pasos a seguir los cuales son: Definición de objetivos y alcances, inventario de ciclo de vida, impacto del ciclo de vida y evaluación e interpretación del ciclo de vida. (Senthilkannan 2016).

La definición de objetivos y alcances es la primera fase de un ACV y determina el propósito del estudio, consta de seis aspectos que son: (1) Aplicaciones previstas de los resultados (2) Limitaciones debido a elecciones metodológicas (3) Contexto de decisión y razones para llevar a cabo el estudio (4) Público objetivo (5) Estudios comparativos que se divulgaran al público (6) Comisionado del estudio y otros actores influyentes. (Hauschild, Rosenbaum y Olsen 2017).El inventario de ciclo de vida y su análisis es la segunda fase, se realiza la compilación de datos sobre los flujos en todos los procesos del sistema de un producto y se utiliza posteriormente para la fase de evaluación del impacto del ciclo de vida.(Hauschild, Rosenbaum y Olsen 2017) La tercera fase es la evaluación del impacto donde la información del inventario del ciclo de vida se traduce en puntajes de impacto ambiental y la última fase es la interpretación donde los resultados de las otras fases se consideran juntas y se analizan con los datos obtenidos, aplicados y documentados a lo largo del estudio. .(Hauschild, Rosenbaum y Olsen 2017)

Para lograr cuantificar los impactos ambientales es necesario tener una referencia a la cual las entradas y salidas del sistema son relacionadas, a esto se le llama unidad funcional, así se garantiza la comparación de resultados que es especialmente importante cuando se quieren comparar dos sistemas diferentes y sus impactos (ISO 2004).

La evaluación de los impactos depende de la forma en que se analice, se puede realizar una metodología de análisis de efecto ultimo del impacto o “*endpoint*” donde los impactos afectan directamente a la sociedad, un ejemplo de esta categoría seria la salud humana, sin embargo, la metodología para llegar a cuantificar el efecto ultimo no está plenamente elaborado, ni existe suficiente consenso científico necesario para recomendar su uso, es por esto que se

suelen considerar los efectos intermedios o “*midpoint*” (European Commission -- Joint Research Centre -- Institute for Environment and Sustainability 2010) ejemplos de estas categorías de impacto son: Cambio Climático muestra el aumento en la temperatura de la atmosfera terrestre y los océanos (Lenzen et al. 2018), agotamiento de los recursos minerales calcula el uso de materiales extraídos de la naturaleza (Collins 2017), huella hídrica que sirve para cuantificar el consumo de agua ocasionado de forma directa o indirecta (Hoekstra 2017), eutrofización que mide la concentración de nitratos y fosfatos que es imprescindible controlar en la gestión de calidad del agua (Dodds y Smith 2016), acidificación se usa para medir la perdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua como consecuencia de un alto consumo de fertilizantes y detergentes (Haya 2016) , y toxicidad humana categoría de impacto que refiere a los efectos nocivos sobre la salud humana debido a la absorción de sustancias toxicas (Hauschild, Rosenbaum y Olsen 2017).

Las metodologías para la evaluación del impacto ambiental más comúnmente usadas son CML 2001 y Ecoindicador 99 aunque entre estas presentan diferencias significativas, la metodología CML 2001 analiza los puntos intermedios de impacto para la caracterización de 10 categorías las cuales son: (disminución de la capa de ozono, toxicidad humana, eco toxicidad de agua dulce, eco toxicidad agua de mar, eco toxicidad terrestre, oxidación fotoquímica, calentamiento global, acidificación, agotamiento de recursos abióticos y eutrofización. La metodología Ecoindicador 99 de puntos finales posee tres categorías de daño las cuales son: Salud humana, calidad de ecosistema y recursos.(ecoRae 2013).

ReCiPe es una metodología reciente desarrollada para combinar las ventajas de CML2001 y Ecoindicador 99, al combinar ambos métodos se obtiene la solidez científica brindada por CML2001 y la facilidad de interpretación que proporciona Ecoindicador99, enfoca el problema ambiental, así como el daño final, incluye 18 categorías de impacto intermedios: Cambio climático, Disminución de la capa de ozono, Toxicidad humana, Formación de oxidantes fotoquímicos, Formación de materia particulada, Radiación ionizante, Acidificación terrestre, Eutrofización de agua dulce, Eutrofización marina, Ecotoxicidad terrestre, Ecotoxicidad de agua dulce, Ecotoxicidad marina, Ocupación de terreno agrícola, Ocupación de terreno urbano, Transformación de terreno natural, Disminución de cantidad de agua dulce, Disminución de recursos minerales y Disminución de combustibles fósiles.

Además, también incluye 3 categorías de impactos finales: Salud humana, ecosistemas y aumento del coste de recursos (Rattanatum et al. 2018).

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

##### **Tipo de investigación:**

La presente investigación es de tipo aplicada porque la información que se obtuvo al culminarse tiene fines prácticos como los de optimizar el proceso de producción del Compost y así disminuir la contaminación ambiental que genera, según Chávez (2007) la investigación aplicada tiene como objetivo solucionar un problema en un tiempo corto y se aplica de manera inmediata, a diferencia de la investigación básica, la investigación aplicada no está dirigida al desarrollo de la teoría. Además, Hernández y Col (2006) nos dicen que la investigación aplicada surge de la necesidad del investigador a dar solución a problemas o de satisfacer necesidades en un área del conocimiento. Por su parte Risquez y Col (2002) mencionan que la investigación aplicada se caracteriza porque se busca la utilización de los conocimientos que se obtienen. Así también CONCYTEC (2018) nos dice que este tipo de investigación determina los medios para cubrir una necesidad específica a través del conocimiento científico.

##### **Diseño de investigación:**

El diseño de la presente investigación es no experimental porque no manipulamos las variables y transeccional descriptivo porque se centró en la descripción del proceso sin intervención alguna y así saber la realidad del proceso de producción del compost para posteriormente analizar los datos y evaluar los impactos ambientales en las categorías obtenidas esta información servirá para realizar cambios en el proceso de producción de compost para volverlo más eficiente desde un enfoque ambiental. Así también esta investigación utilizó diferentes herramientas para la obtención de datos, lo que nos brindó información de entradas de materia prima y salidas de desechos durante el proceso de producción del compost. Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio (1997) nos dicen que los diseños de investigación transeccionales descriptivos indagan la incidencia y valores de una o más variables y tienen como objetivo medir y proporcionar una descripción. Así también Baena Paz y ProQuest. (2017), nos dice que las investigaciones descriptivas buscan especificar cómo son y cómo se comportan diferentes grupos de personas, comunidades, sistemas o cualquier otro fenómeno y especificar sus propiedades más importantes.

### 3.2. Variables y operacionalización.

Tabla 1.

Operacionalización de variables.

VARIABLE	MARCO CONCEPTUAL	OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
<b>INDEPENDIENTE</b> ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA	Según ISO (2006) análisis de ciclo de vida es un método para compilar y evaluar cuantitativamente las entradas y salidas de un sistema de producción y a lo largo del ciclo de vida de un producto.	Para analizar el ciclo de vida del compost se describirá el proceso de producción del compost en la Municipalidad de El Agustino en las etapas "De la cuna a la tumba" teniendo como enfoque el inventario de ciclo de vida, los límites del sistema de producción y los impactos del ciclo de vida del compost, para posteriormente analizarlos mediante indicadores cuantificables usando categorías de impacto ambiental y finalmente interpretar los resultados para resolver el problema de la investigación.	Entradas	Energía	Mj
				Materias Primas	t
			Salidas	Efluentes Líquidos	m <sup>3</sup>
				Emisiones Atmosféricas	m <sup>3</sup>
				Residuos Sólidos	Kg
				Producto Útil	Kg
Energía	Mj				
<b>DEPENDIENTE</b> IMPACTOS AMBIENTALES NEGATIVOS	Según ISO (2015) los impactos ambientales negativos se refieren a cualquier cambio en el ambiente que sean perjudiciales para éste sin tener en cuenta la magnitud de los daños, provocados por la producción de bienes o servicios, cuantificables y medibles mediante sus categorías de impacto.	Los impactos ambientales negativos se obtendrán del análisis de datos obtenidos en el ciclo de vida del Compost, estos impactos ambientales responderán a los flujos de entrada y salida del proceso de producción, las categorías de impacto se relacionan a las magnitudes de flujo en el sistema, de esta forma se hace una relación entre la producción del compost y los impactos ambientales negativos que genera.	Categorías de Impacto Intermedio	Cambio climático	Kg eq de CO <sub>2</sub>
				Disminución de la capa de ozono	Kg eq de CFC-11
				Toxicidad humana	CTUe
				Formación de oxidantes fotoquímicos	Kg etileno
				Formación de materia particulada	Kg eq de PM 2.5
				Radiación ionizante	Kg eq de U235

				Acidificación terrestre	mol eq de H+
				Eutrofización de agua dulce	Kg eq de P
				Eutrofización marina	Kg eq de N
				Eco toxicidad terrestre	CTUe
				Eco toxicidad de agua dulce	Kg 124 DCB
				Eco toxicidad marina	Kg 124 DCB
				Uso de suelo	M2
				Disminución de cantidad de agua dulce	m3
				Disminución de recursos minerales	Kg eq de Sb
				Disminución de combustibles fósiles	Kg eq de Sb
				Salud Humana	AVAD
				Ecosistemas	Especies x Año
			Categorías de Impacto Final	Aumento del coste de Recursos	US\$

### **3.3 POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO**

#### **3.3.1. Población**

Una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones que puede ser finito o infinito (Selltiz, 1974). En la presente investigación la población está determinada por los datos del proceso de producción del compost que obtendremos de la Municipalidad de El Agustino. Para incluir información en nuestra población, utilizamos aspectos enfocados en los flujos de entradas y salidas dentro del sistema de producción del compost, también tuvimos en cuenta datos dimensionales de tiempo. Como la afirma Luis (2004) población es el conjunto de personas, objetos de los que se desea conocer algo, la población también puede estar constituida por información sobre una realidad.

#### **3.3.2. Muestra**

Son un conjunto de elementos seleccionados de una población de acuerdo al muestreo, la muestra es la parte de la población que se estudia y analiza (Salazar 2018). En la presente investigación se analizaron los datos obtenidos que corresponden al año 2020.

#### **3.3.3. Muestreo**

Una muestra puede ser de dos tipos: probabilística y no probabilística, el muestreo probabilístico nos muestra la probabilidad que tiene cada individuo de ser considerada en la muestra, normalmente en una selección al azar (Otzen y Manterola 2017). Por otro lado en el muestreo no probabilístico se depende en gran medida del criterio o juicio del investigador, la muestra se selecciona mediante procedimientos no aleatorios (Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio 1997). Para esta investigación se hizo uso del muestreo no probabilístico y de conveniencia o intencional en la que elegimos que parte de la población pasa a formar la muestra.

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.**

Se entiende por técnica el proceso de recolección de datos, y por instrumento al medio por el cual se registraron dicha información relacionada a las variables de nuestra investigación a fin de poder estudiar y analizar los datos que se obtendrán.

### **3.4.1. Técnicas**

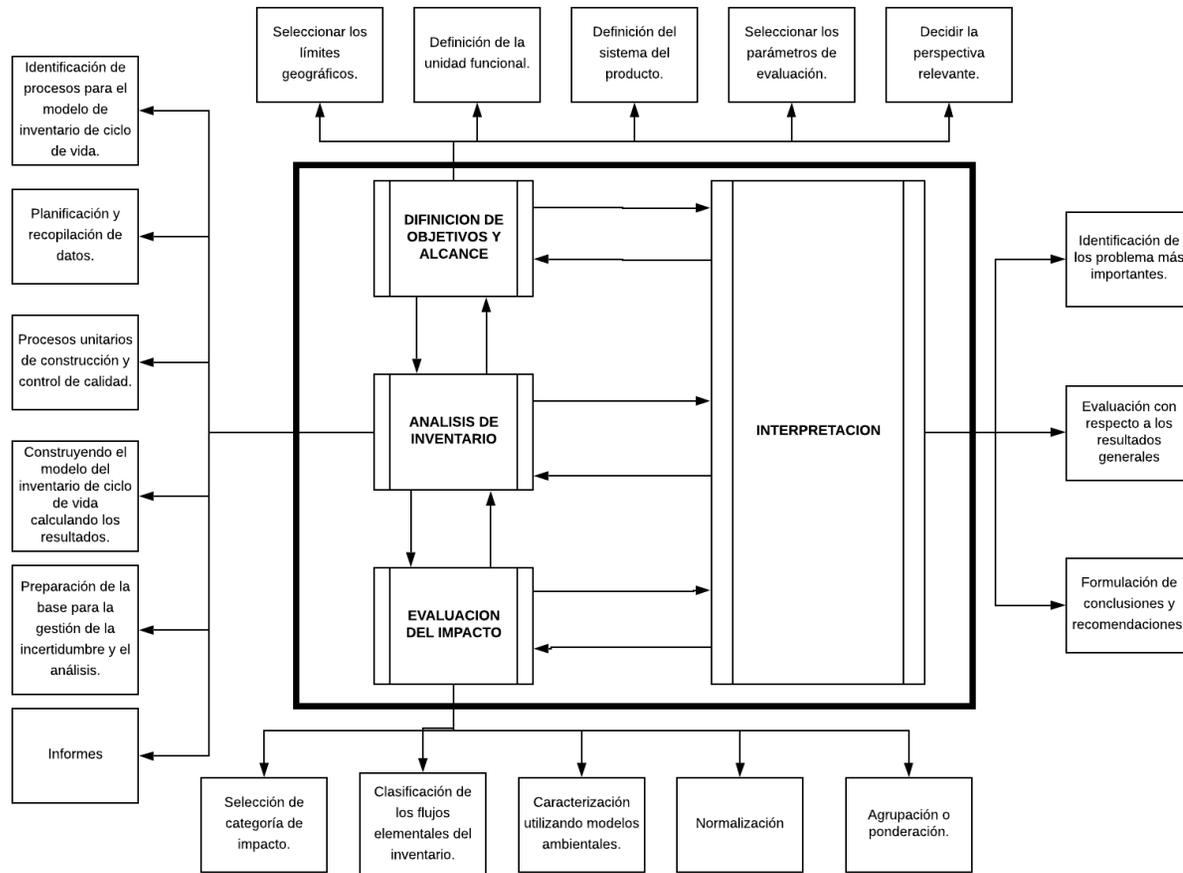
- Observación: Permite recolectar información sobre el objeto de estudio, a través de las visitas in situ que se realizaron a la Municipalidad del Agustino.
- Entrevista: De esta manera se obtienen datos reales del área de estudio para determinar en qué situación se encuentran las operaciones.
- Análisis documental: Se utilizó la documentación de la fábrica municipal de Lima Norte concerniente a la producción de compost.

### **3.4.2. Instrumentos**

- Ficha de observación: Se utiliza guías de observación para recoger información sobre la situación de las operaciones de producción.
- Ficha de análisis documental: Se utiliza esta guía porque se usa un modelo basado en normas y teorías sobre Análisis de Ciclo de Vida y establecer los diagramas de flujo en el proceso, así mismo la guía de análisis documental recopila toda la información registrada en la Municipalidad de El Agustino para la producción del compost.
- Ficha de entrevista: La entrevista es realizada a los trabajadores de la fábrica de compost de la Municipalidad de El Agustino, con el fin de conocer cómo se realiza su trabajo a diario, durante todo el proceso de producción para describir sus operaciones, en los cuales se solicitó la mayor objetividad y veracidad.

### 3.5. Procedimiento

Fig. 3. Esquema de procedimiento de ACV



### 3.5.1. Descripción de la fabricación de compost en la Municipalidad de El Agustino

La Municipalidad de El Agustino está implementando múltiples políticas y proyectos para asegurar el desarrollo sostenible y la protección del medio ambiente como la Implementación del Centro de Valorización de Residuos, mismo que está siendo supervisado por el MEF y MINAM, la meta de producción de compost para finales del año 2020 es de 70.47 t como se indica en el Programa de Incentivos a la Mejora de la Gestión Municipal del año 2020, la Municipalidad de El Agustino a implementando un sistema para la producción del Compost, mismo que se evaluó en la presente tesis.

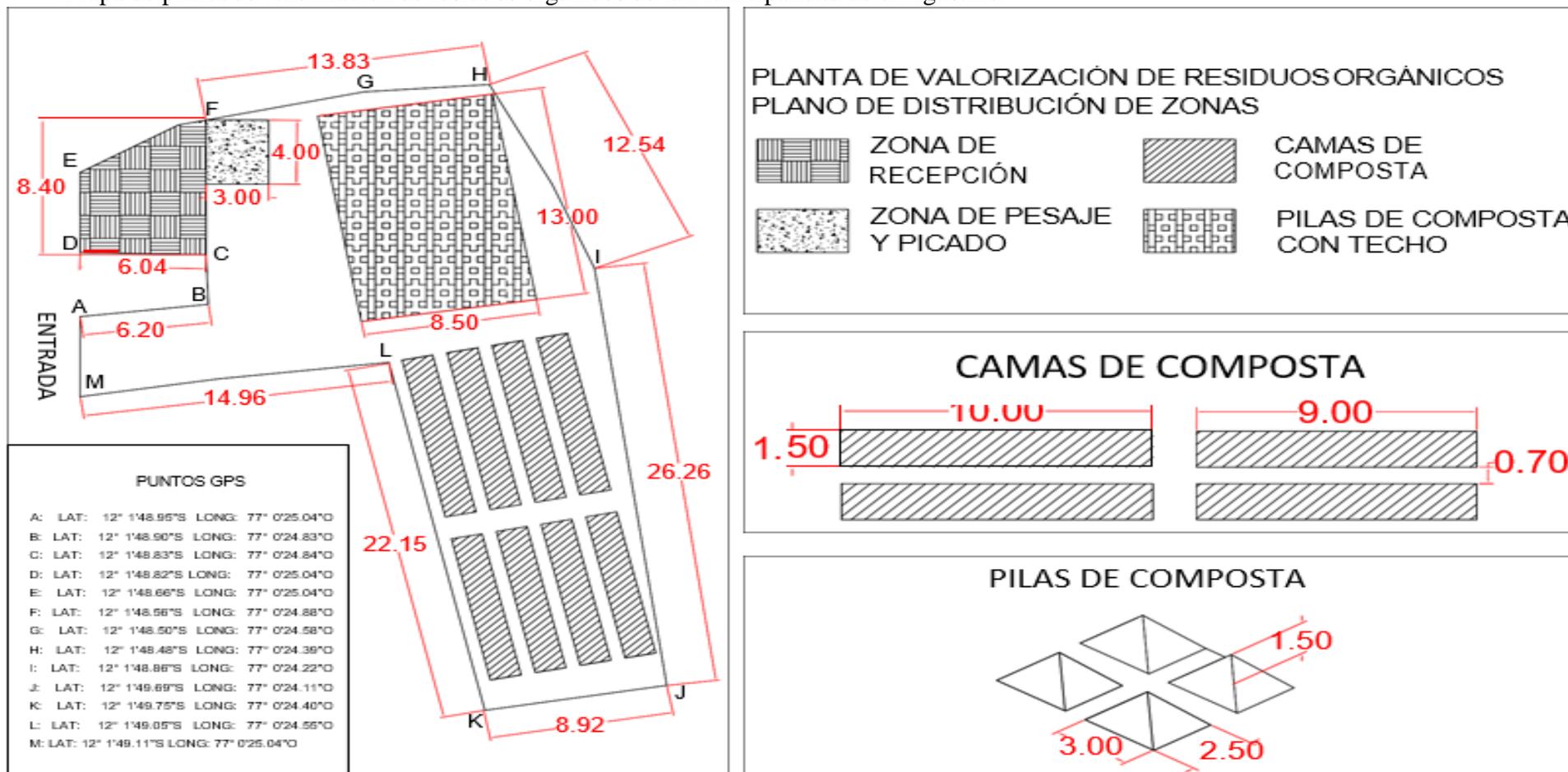
### 3.5.2. Definición de alcance y objetivos

El objetivo del presente ACV es de naturaleza puramente descriptivo, analizar el ciclo de vida del compost utilizando el software openLCA, de esta forma conocer cuáles son los impactos ambientales del sistema de producción, identificar los procesos unitarios que generan los mayores impactos ambientales y cuantificar estos impactos, el alcance del estudio involucró todos los procesos necesarios para la producción del compost en la Municipalidad de El Agustino, como transporte de materia prima, proceso de elaboración y los residuos generados, el compost producido se utiliza en las áreas verdes del distrito y también se dona a la población que lo requiere como fertilizante orgánico, se elaboró el análisis de ciclo de vida desde un punto de vista de la cuna a la tumba.

Para analizar el ciclo de vida de la producción del compost se limitó geográficamente el lugar donde se produce el compost, se ubica en la zona A.H. Agrupación Familiar Los Jardines, la altura de Av. Malecón de la Amistad con la Av. 07 de junio, cuenta con 21,258.28 m<sup>2</sup> y un perímetro de 1.2 km.

Fig. 4.

Mapa de planta de valorización de residuos orgánicos de la Municipalidad de el Agustino.

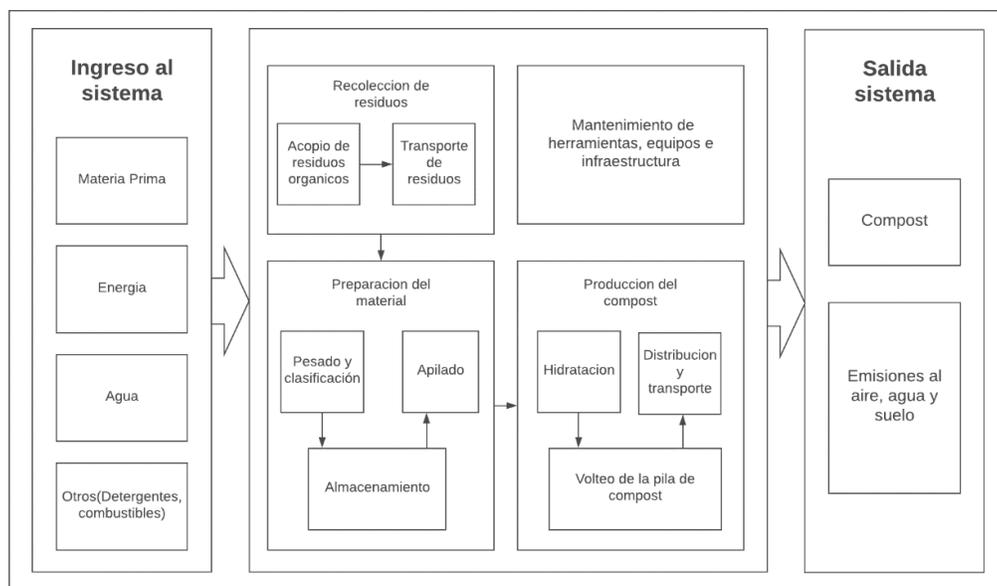


Con el objeto de poder relacionar los flujos del sistema al momento de realizar el análisis de inventario definimos una unidad funcional que nos permite cuantificar las entradas y salidas dentro del proceso de producción del compost, sin embargo, aunque la presente investigación se realiza desde una perspectiva de los impactos ambientales que se generan a partir de la elaboración del producto, en este caso el compost, la unidad funcional que se utilizara será el tratamiento de 1 tonelada (t) de residuos orgánicos, se entiende que el tratamiento de los residuos darán como producto el compost.

El sistema del producto está compuesto por todos los procesos del ciclo de vida del compost y enmarcado dentro del límite del sistema (Fig. 3) el cual considera procesos como: acopio de residuos orgánicos, estiércol de caballo y residuos de jardín además de sus posterior transporte hasta la planta de valorización, el pretratamiento de la materia prima, el proceso de apilado y maduración, finalmente el empaclado y distribución, además también se consideran dentro del sistema procesos de mantenimiento necesarios en la producción. El establecer efectivamente los límites del sistema influencia de manera determinante en los resultados del ACV, es por esto que se definió desde la perspectiva adecuada, en nuestro caso lo que se quería conocer son los impactos ambientales que se atribuyen a la producción del compost en la Municipalidad de El Agustino y cuantificar sus magnitudes.

Figura 5.

Sistema de producción del compost en la planta de valorización de el Agustino



### 3.5.3. Análisis de inventario

Se identifican los procesos para el modelado del ciclo de vida del compost, se describe a continuación:

a. Acopio de residuos orgánicos.

La Municipalidad de El Agustino mediante su campaña de sensibilización y capacitación logró el apoyo de 13 mercados, los cuales segregan y acopian sus residuos orgánicos en bolsas plásticas, mismas que son dispuestas en contenedores facilitados por la propia Municipalidad, la recolección diaria promedio de residuos orgánicos es de 1 tonelada, en la Tabla 1 se muestran los nombres de los mercados, ubicación y cantidad de residuos producidos promedio por mercado.

Tabla 2.

Mercados y aporte de residuos orgánicos.

<b>Mercados</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Recolección promedio de Residuos (Kg)</b>	<b>Residuos Orgánicos Aprovechables (%)</b>	<b>Residuos Orgánicos Re aprovechables (Kg)</b>
<b>Las Malvinas</b>	Los Lirios, Cercado de Lima 15009	105	63	66.15
<b>Villa Hermosa</b>	Jr. Ucayali 184, El Agustino	51	87	44.37
<b>Los Alamos</b>	Sector, Calle 2 15007, Cercado de Lima	66	75	49.5
<b>03 de octubre</b>	Higos, El Agustino 15007	112	45	50.4
<b>San Hilarion</b>	Av. Nicolás Ayllón 535, El Agustino 15018	78	86	67.08
<b>24 de junio</b>	Av. Las Magnolias 89, El traAgustino 15006	54	94	50.76
<b>Victor Salcedo</b>	Av. Riva Agüero 709, El Agustino 15003	59	82	48.38
<b>12 de Julio</b>	Av. Las Magnolias 501, Cercado de Lima 15006	83	71	58.93
<b>Las Magnolias</b>	Av. Las Magnolias 515, Cercado de Lima 15006	95	65	61.75
<b>Ancieta Alta</b>	Jirón las Margaritas 394, El Agustino 15006	47	79	37.13
<b>Santoyo</b>	Jr. Chiquian, El Agustino 15003	37	81	29.97
<b>01 de Julio</b>	Salcedo, El Agustino 15004	76	63	47.88
<b>07 de Noviembre</b>	Av. Riva Agüero 584, Cercado de Lima 15004	137	52	71.24

b. Transporte de materia prima.

Los residuos orgánicos son recolectados por un camión baranda, el cual recorre los puntos de acopio para posteriormente llevarlos a la planta de valorización de residuos orgánicos, la ruta es fija y el consumo de combustible no varía significativamente, además de esto gracias a donaciones hechas por el “Cuartel Barbones” se recolecta estiércol de caballo, así como residuos de jardín de las áreas verdes para usarse como materia prima en la producción del compost, se detalla la distancia que recorren para transportar la materia prima.

Tabla 3.

Recorrido de transporte

Escenarios	Unidades	Distancia	Frecuencia	Peso de la Carga (Kg)
De los mercados a la planta de valorización	Km	26.5	Diaria	1000
Del Cuartel Barbones a la planta de valorización	Km	10.2	Inter diaria	1000
De las áreas verdes a la planta de valorización	Km	18	Inter diaria	1000

c. Pesado y clasificación.

Al culminar la ruta de recolección el camión se dirige a la planta de valorización de residuos orgánicos, a su llegada los residuos son pesados y posteriormente clasificados a mano y se eliminan todos los plásticos y otros contaminantes no degradables, pues al interior de los paquetes también se encuentran otro tipo de residuos inorgánicos como ropa, plásticos, mascarillas. Posterior a la clasificación se vuelven a pesar los residuos orgánicos en promedio la materia prima de compost tiene 40.53% Solidos Totales, 46.06% Solidos Volátiles, 41.26% Carbono total, 2.2% de Nitrógeno Total, 4.38 g kg<sup>-1</sup> de fosforo total y 11.96 g kg<sup>-1</sup> de Potasio total, las características iniciales de residuos orgánicos (RO), estiércol de caballo (EC) y residuos de jardín (RJ) como se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4.

Composiciones de materia prima.

<b>Parámetros</b>	<b>Residuos Orgánicos<sup>a</sup></b>	<b>Estiércol de caballo<sup>b</sup></b>	<b>Residuos de Jardín<sup>c</sup></b>
<b>Sólidos Totales (%)</b>	11.9 - 12.3	13 – 36	78 – 92
<b>Sólidos Volátiles (%)</b>	10.9 - 11.4	11 – 29	84 – 95
<b>Carbono Total (%)</b>	38	35.3 - 50.5	38.9 - 43.6
<b>Nitrógeno Total (%)</b>	2.4 - 4.2	1.8 - 3.3	0.5 - 1.0
<b>Fosforo Total (g kg<sup>-1</sup>)</b>	5.1 - 5.7	2.7 - 8.4	-
<b>Potasio Total (g kg<sup>-1</sup>)</b>	4.9 - 5.0	23.8 - 26.1	-

Fuente: Elaboración propia.

a Hills y Nakano (1984); Li et al. (2016)

b Cao y Harris (2010); Uludag-Demirer et al. (2008); Demirer y Chen (2008); El-Mashad y Zhang (2010); Agyeman y Tao (2014); Wang et al. (2010).

c Xu et al. (2013); Li et al. (2013a, 2013b, 2016b); Zang et al. (2017).

#### d. Almacenamiento.

Los residuos orgánicos posterior a su clasificación y pesado se almacenan durante 1 a 3 días en promedio en un área de aproximadamente de 24 m<sup>2</sup> cercana a la rivera del rio, el suelo no cuenta con impermeabilización para evitar la percolación de los lixiviados, además el área no está techada ni protegida, lo que origina que en la zona se encuentre una gran cantidad de insectos, así también la materia prima genera emisiones gaseosas durante el tiempo que se encuentra almacenada como se resume en la Tabla 4, se encuentra aquí hasta su posterior disposición en camas de compostaje.

#### e. Apilado y maduración

Se coloca en pilas la materia prima, residuos orgánicos, estiércol y poda, hasta formar camas de 50 cm de profundidad y 1 metro de altura, estas camas de compostaje poseen una longitud de 7 m y 1.5 m de ancho. Horas hombre y proceso de apilado, que usan aquí

Como parte del procedimiento de maduración, las camas de compostaje se hidratan con una frecuencia diaria, usando mangueras y agua potable durante 3 meses, que es el tiempo de producción promedio del compost. Cantidad de agua promedio usada para el compost, necesito esos recibos de agua. Hacer un cuadro con los m<sup>3</sup> de agua usados mensualmente,

f. Volteo y aireación.

Se realiza el volteo y aireación de las camas de compostaje dos veces al mes, además antes de realizar este proceso con ayuda de una varilla se realiza un agujero en la pila de compost para que los gases generados puedan liberarse. Gases que se emiten normalmente por el compost en un cuadro con fe noma. Principales gases emitidos en el compostaje.

g. Transporte y distribución.

Al culminar el tiempo de producción y obtenido el compost se acopia y almacena hasta que posteriormente se empaca en bolsas, el compost producido es utilizado para las propias áreas verdes del Municipio o donado a la población que requieran de este abono. Igual un cuadro de que contiene el compost después del proceso, además

h. Mantenimiento de herramientas, equipos e infraestructura.

En el proceso de producción del compost se utilizan herramientas las cuales son limpiadas y desinfectadas con detergentes y otros químicos, el personal encargado de la producción del compost también realiza mantenimiento a los equipos e infraestructura de la planta de valorización lo que requiere un constante uso de productos químicos de limpieza. Cuadro con el requerimiento de detergentes y productos químicos, además de alguna manera evaluar el agua, los residuos orgánicos que se generan también se t

La evaluación de los impactos ambientales generados por la producción del compost se realizará en base a estos procesos unitarios, es necesario planificar la forma de recolección de datos para evitar recopilar datos de alta calidad los cuales demanden mucho esfuerzo y que quizá tengan poca relevancia, es por esto que los datos de flujos se obtuvieron gracias a la observación del proceso de producción debidamente documentado en formatos de seguimiento, además el uso de detergentes, tiempo de producción y otros se obtuvo de los trabajadores que realizan el proceso de producción del compost, otras fuentes de información usados para la presente investigación son artículos científicos e investigaciones.

## 3.6 MÉTODO DE ANÁLISIS DE DATOS

### 3.6.1. Método Analítico

Es un método que se basa en la descomposición de sus partes para observar sus causas y efectos. El método se basa en una realidad o un hecho, acontecimiento en particular, también permite conocer más el objeto a estudiar con lo cual se podrá mejorar y comprender su comportamiento (Calduch 2017).

### 3.6.2. ReCiPe

El método de análisis de datos que fue seleccionado para la presente investigación es ReCiPe, creada por RIVM, CML, PRé Consultants, Radboud Universiteit, Nijmegen y CE Delft. La ventaja de este método es su solidez científica por su amplio uso en diferentes investigaciones (Padrón Páez et al., 2017; Sabia et al., 2020; Rana et al., 2020; Galli et al., 2017; Lamnatou et al., 2018; Lamnatou et al., 2019; Linhares et al., 2017; Pushkar, 2019; Recanati et al., 2018; Vinci et al., 2019), enmarcada dentro del ámbito europeo y está considerado como la sucesora de las metodologías anteriores como Ecoinvent 3.6 y CML 2001, integra el enfoque orientado al problema ambiental y el orientado al daño, al usar esta metodología se logra identificar los impactos ambientales negativos producidos en las diferentes operaciones de un proceso.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Inventario de ciclo de vida.

El inventario de ciclo de vida se muestra como resultado pues se evidencia la base metodológica descriptiva que tiene la presente investigación, se utilizó la unidad funcional de 1 t de residuos orgánicos con la cual se relacionan todos los flujos para su posterior cálculos de impacto, según la información obtenida por cada tonelada de residuos orgánicos son necesarios 300 Kg de estiércol de caballo y 250 residuos de jardín los cuales son transportados en camiones barandas por una distancia aproximada diaria de 35.9 km con una carga de 1 t, además los consumos de energía que es donada también se tienen en cuenta en el análisis pues los impactos generados para producirla no se evitan, la cantidad de agua potable usada se calculó mediante los medidores de flujo

dispuestos en la planta de valorización de residuos orgánicos de la Municipalidad de El Agustino, la información se presenta a continuación.

Tabla 5.

Entradas al sistema de producción del compost en la planta de valorización de El Agustino.

<b>APORTES AL SISTEMA</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>PARA EL TRATAMIENTO DE 1 T DE RO</b>
<b>MATERIA PRIMA</b>		
<b>Residuos Orgánicos</b>	Kg	1000
<b>Estiércol de Caballo</b>	Kg	300
<b>Residuos de Jardín</b>	Kg	250
<b>Agua</b>	m <sup>3</sup>	600
<b>Energía</b>	kWh	31.9
<b>TRANSPORTE</b>		
<b>De los mercados a la planta de valorización</b>	Kg * Km	1000 * 26.5
<b>Del Cuartel Barbones a la planta de valorización</b>	Kg * Km	1000 * 3.4
<b>De las áreas verdes a la planta de valorización</b>	Kg * Km	1000 * 6
<b>OTROS</b>		
<b>Detergentes</b>	Kg	26
<b>Empaques (plásticos)</b>	Kg	1.25

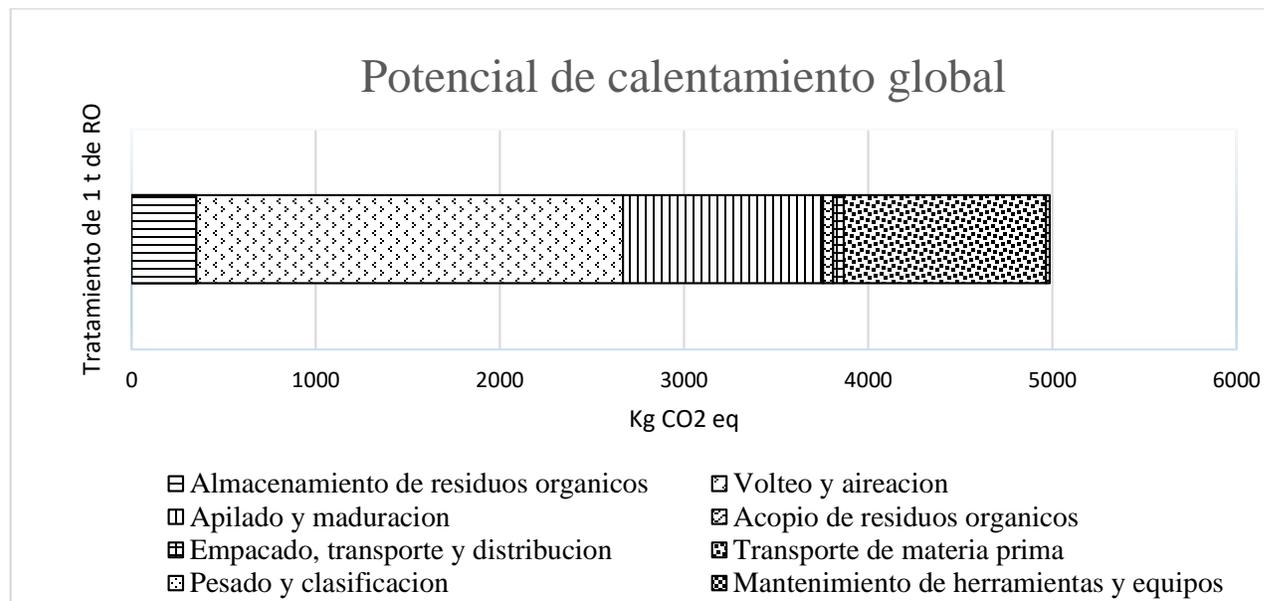
#### 4.2. Resultados de los impactos ambientales.

##### 4.2.1. Potencial de calentamiento global.

El potencial de calentamiento global del sistema de producción del compost no evidenció valores negativos los cuales muestran la nula reducción neta de emisiones que tiene el sistema en esta categoría (Fig. 6). En el presente resultado los valores positivos son las huellas ambientales que el sistema genera en el tratamiento de los residuos sólidos para la producción del compost, se muestra que los principales procesos que contribuyen a esta categoría son: Volteo y aireación con 2316.1 Kg CO<sub>2</sub> eq, apilado y maduración con 1085.59 Kg CO<sub>2</sub> eq, transporte de materia prima con 1098.48 Kg CO<sub>2</sub> eq, finalmente almacenamiento de residuos orgánicos 7.07 Kg CO<sub>2</sub> eq, que contribuyen en la proporción de 46.44%, 21.77%, 22.03 y 7.07% respectivamente, la cantidad total en Kg CO<sub>2</sub> eq fue de 4984.45987 como se muestra en la figura a continuación.

Fig. 6.

Potencial de calentamiento global

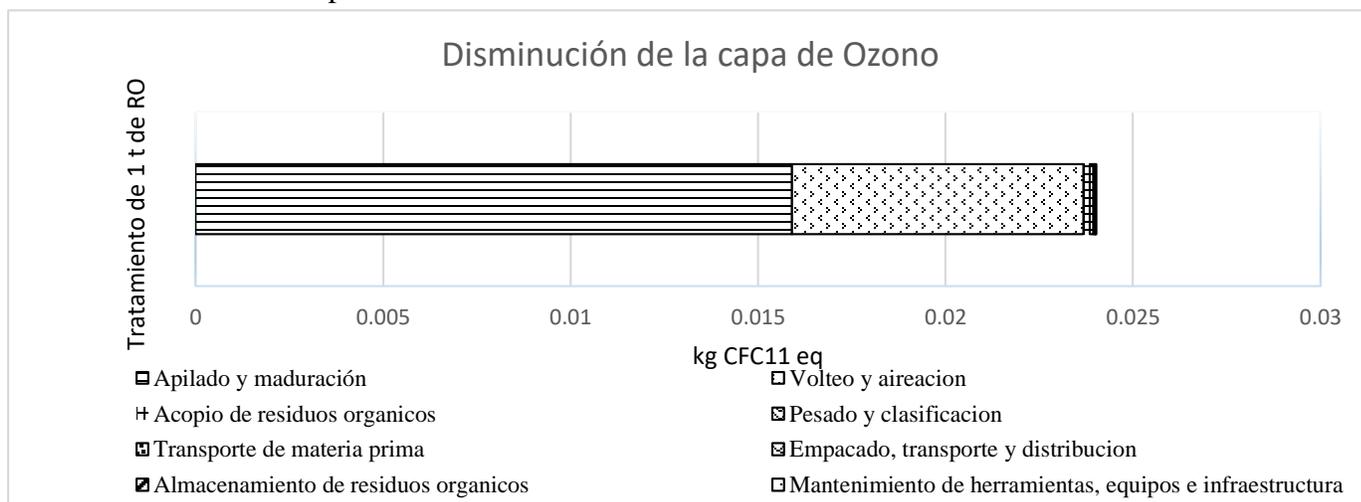


4.2.2. Disminución de la capa de ozono.

La disminución de la capa de ozono se produce comúnmente por agentes como el cloro y bromos libres que llegan a la atmosfera produciendo una reacción fotoquímica con el ozono, el tratamiento de residuos orgánicos para la producción del compost según los resultados obtenidos no impactan de manera significativa para la categoría de disminución de la capa de ozono, siendo los procesos que mas generan impactos los de apilado y maduración con 0.0159 Kg CFC11 eq y volteo y aireación con 0.00778 Kg CFC11 eq, contribuyen en la proporción de 66.22% y 32.43% respectivamente, la cantidad total en Kg CFC11 eq es de 0.0240066 como se muestra en la figura a continuación.

Fig. 7.

Disminución de la capa de ozono.



#### 4.2.3. Toxicidad humana.

La categoría de toxicidad humana usando la metodología ReCiPe divide los resultados en: toxicidad humana cancerígena y no cancerígena, gracias a el software openlca se puede analizar los impactos de manera individual, para la toxicidad humana cancerígena no se encontraron valores menores a cero, por lo que se descarta la reducción de impactos negativos para esta categoría, los procesos que más aportaron fueron los de: Almacenamiento de residuos orgánicos con 22.35 Kg 1,4-DCB, volteo y aireación con 21.18 Kg 1,4-DCB, apilado y maduración con 14.03 Kg 1,4-DCB , finalmente acopio de residuos orgánicos con 9.75 Kg 1,4-DCB, que contribuyen en la proporción de 30.78%, 29.17%, 19.33% y 13.43% respectivamente, de la misma forma la toxicidad humana no cancerígena solo muestra resultados positivos evidenciando así que todos los procesos generan impactos negativos, los procesos que generan los mayores impactos son almacenamiento de residuos orgánicos con 18470 Kg 1,4-DCB y acopio de residuos orgánicos con 2272.52 Kg 1,4-DCB, contribuyendo en una proporción de 83.91% y 10.32% respectivamente, los totales en Kg 1,4-DCB son 72.6 y 22011.6568 para toxicidad humana cancerígena y no cancerígena respectivamente que se muestra a continuación.

Fig. 8.

Toxicidad humana no cancerígena.

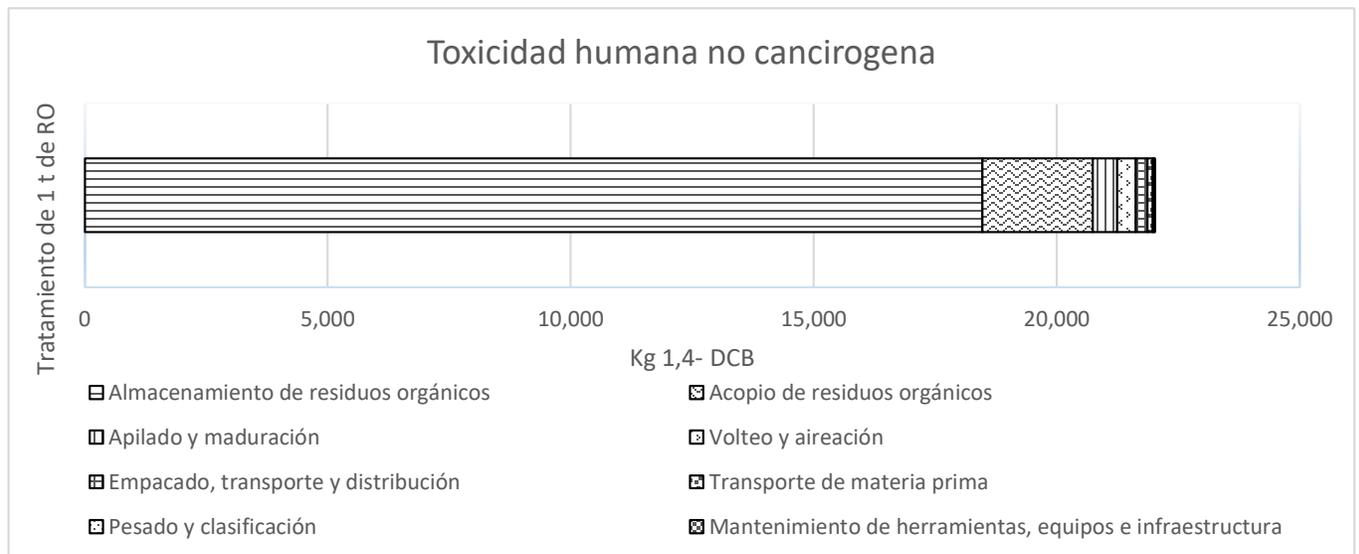
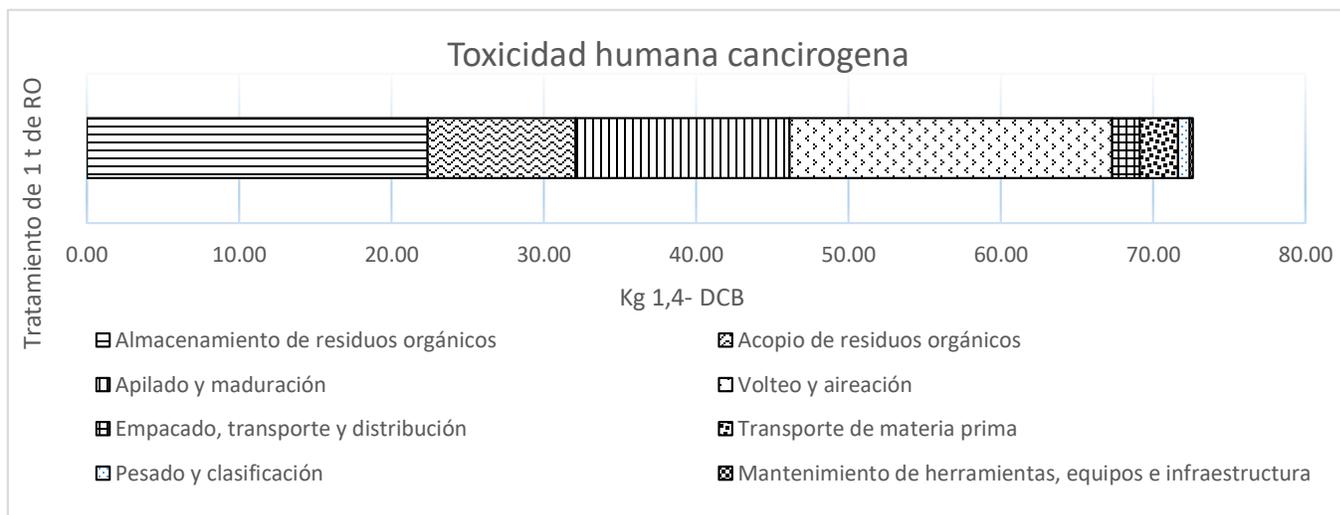


Fig. 9

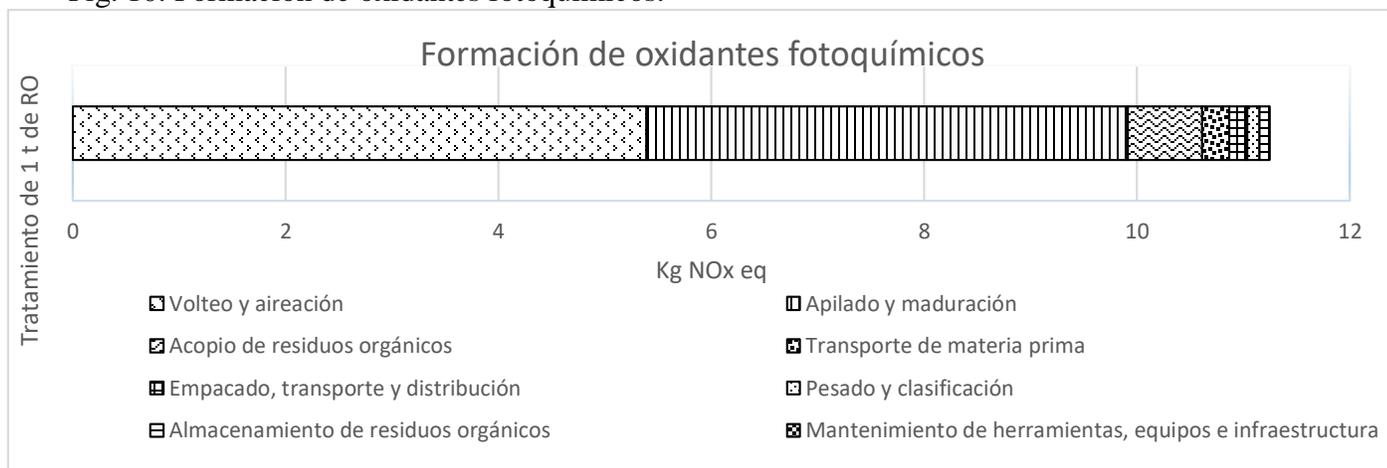
Toxicidad humana cancerígena.



#### 4.2.4. Formación de oxidantes fotoquímicos

La formación de oxidantes fotoquímicos se da comúnmente por acción de los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y por los compuestos orgánicos volátiles (COV) que se liberan en la atmosfera y mediante procesos fotoquímicos logran oxidar sustancias que normalmente no se oxidan por acción del oxígeno, para esta categoría solo se evidencian impactos ambientales negativos siendo los procesos que mas contribuyen los de volteo y aireación con 5.4 Kg  $\text{NO}_x$  eq y apilado y maduración con 4.52 Kg  $\text{NO}_x$  eq, contribuyendo en una proporción de 47.93% y 40.21% respectivamente, el total en Kg  $\text{NO}_x$  eq es 11.25 como se puede observar a continuación.

Fig. 10. Formación de oxidantes fotoquímicos.

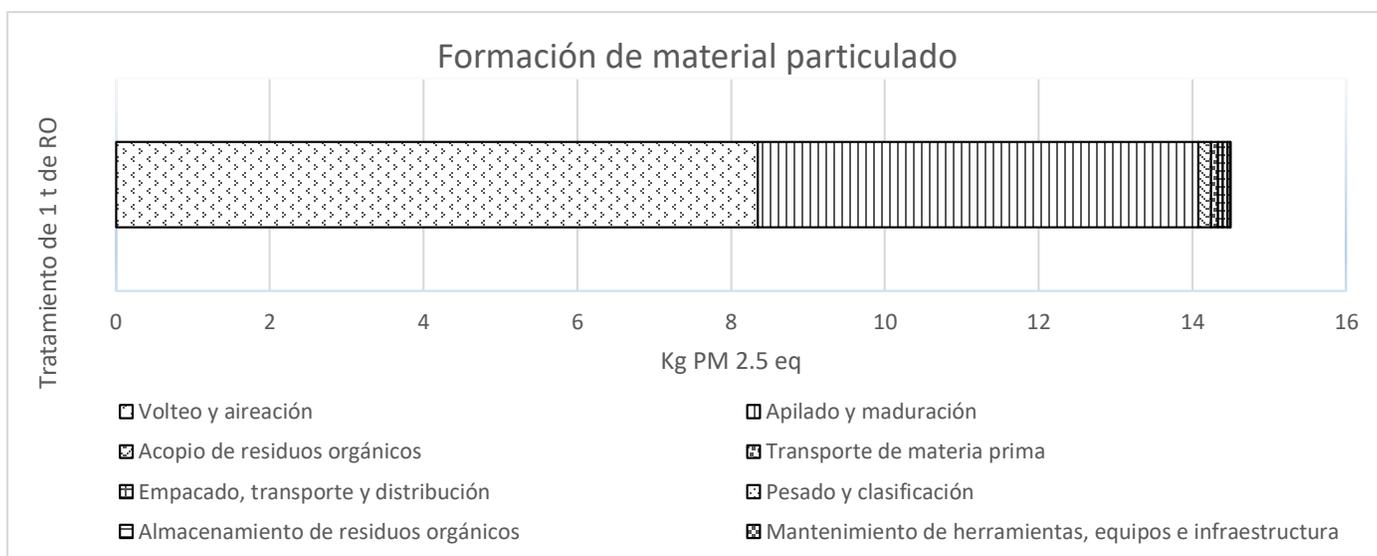


#### 4.2.5. Formación de materia particulada

Esta categoría se refiere a la entrada en la atmosfera de partículas provocando su alteración, el sistema de tratamiento de residuos orgánicos evidencia huellas ambientales para esta categoría de un total de 14.5 Kg PM 2.5 eq, los procesos con una mayor contribución son: volteo y aireación con 8.34 Kg PM 2.5 eq, además de apilado y maduración con 5.73 Kg PM 2.5 eq, contribuyendo al total en 57.6% y 39.46% respectivamente como se puede observar a continuación.

Fig. 11.

Formación de material particulado.

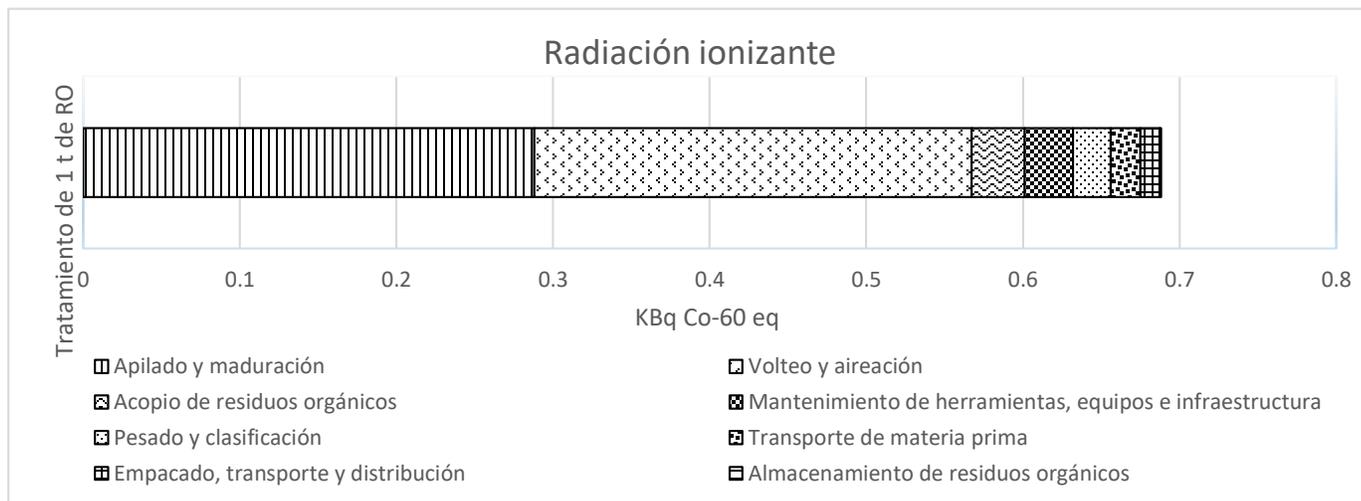


#### 4.2.6. Radiación ionizante

La radiación ionizante liberada comúnmente por átomos en forma de ondas o partículas electromagnéticas y a las que las personas se encuentran comúnmente expuestas por emisores como el suelo, agua o vegetación, en el sistema de tratamiento de residuos orgánicos para su transformación en compost no se evidenciaron grandes impactos en esta categoría con un total de 0.68819 kBq Co-60 eq, esto debido a que la materia prima usada no suele tener contacto con material radioactivo, los procesos principales que contribuyen a esta categoría son: apilado y maduración con 0.28802745 kBq Co-60 eq además de volteo y aireación con 0.27939 kBq Co-60 eq, contribuyendo en una proporción de 41.85% y 40.6% respectivamente al total como se ilustra ahora.

Fig.12.

Radiación Ionizante

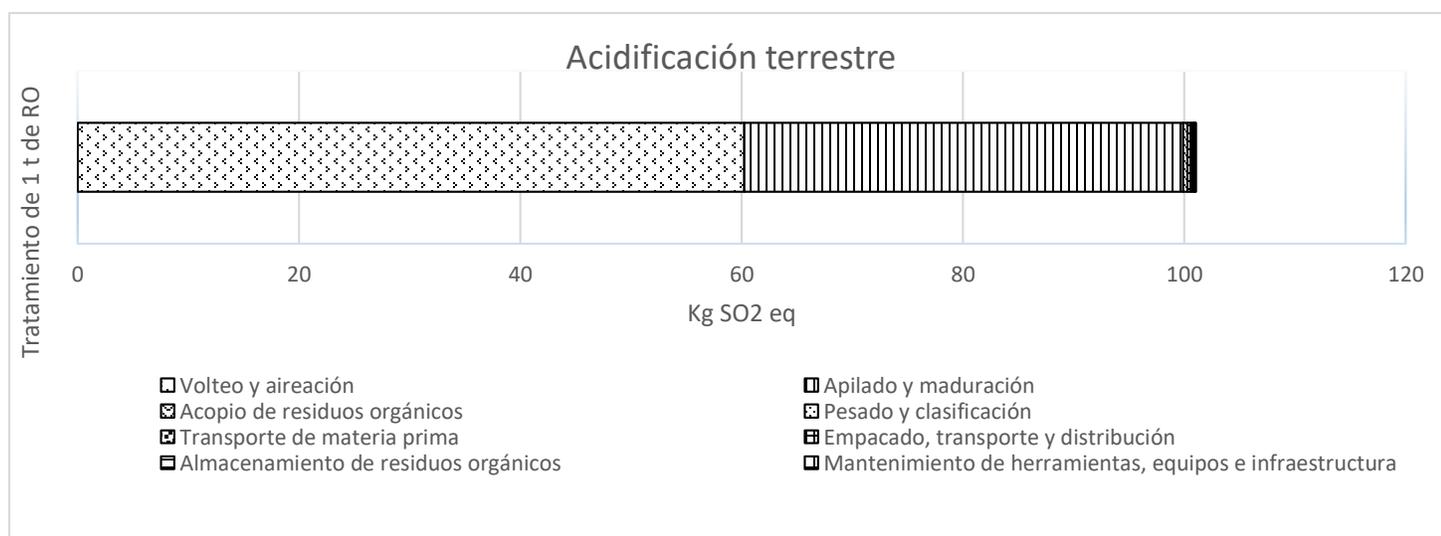


4.2.7. Acidificación terrestre

La acidificación terrestre esta comúnmente relacionada con la emisión de nitrógeno (N) y azufre (S), para el sistema de tratamiento de residuos orgánicos en la planta de valorización de El Agustino los procesos que contribuyeron dominantemente a esta categoría son los de volteo y aireación con 60.24 Kg SO<sub>2</sub> eq además de apilado y maduración con 39.68 Kg SO<sub>2</sub> eq, estos dos procesos pertenecientes al compostaje de los residuos orgánicos contribuyeron en proporciones de 59.64% y 39.29% respectivamente, el total de acidifican terrestre en Kg SO<sub>2</sub> eq fue de 101 mostrado a en la siguiente figura.

Fig.13.

Acidificación terrestre.

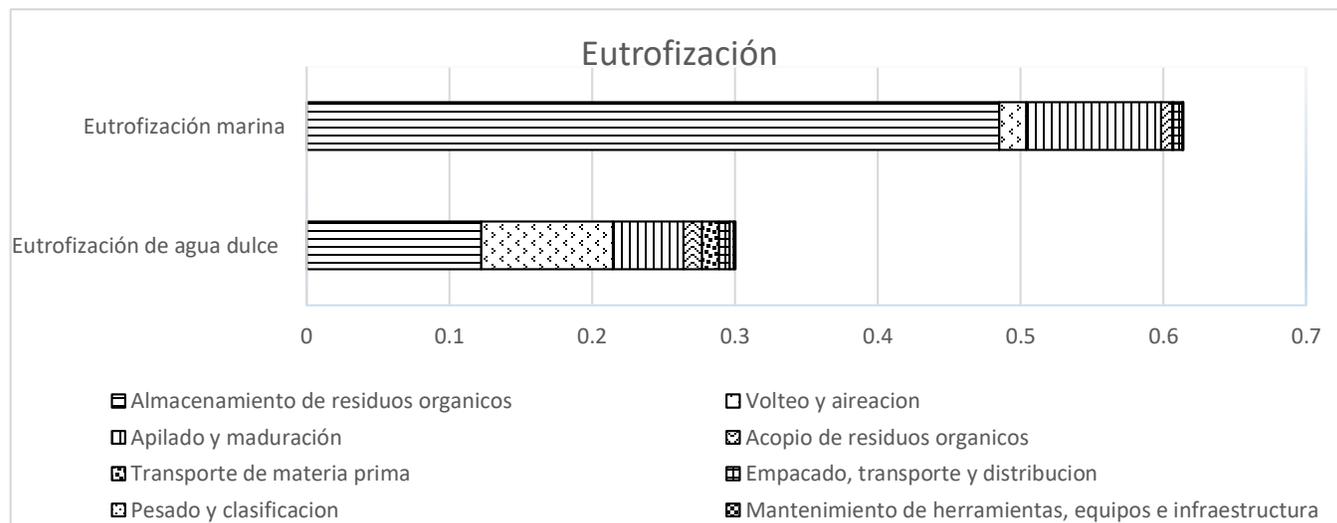


#### 4.2. 8. Eutrofización de agua dulce y marina.

La categoría de eutrofización cubre impactos potenciales de elementos como el nitrógeno (N) y el fósforo (P) que en ecosistemas pueden resultar adversos ocasionando fluctuaciones en la composición de especies y la producción de biomasa. Según los resultados obtenidos para las categorías de eutrofización de agua dulce y eutrofización marina presentan las mayores contribuciones en los procesos los cuales los residuos tienen contacto con el suelo como son: Almacenamiento de residuos orgánicos con 0.1222 Kg P eq y 0.4849 Kg N eq, apilado y maduración con 0.0495319 Kg P eq y 0.0942 Kg N eq, finalmente volteo y aireación con 0.09219 Kg P eq y 0.01924 Kg N eq para eutrofización de agua dulce y eutrofización marina respectivamente., a continuación se observan los totales de eutrofización de agua dulce y marina, para su mejor comparación se presenta en una figura.

Fig.14.

Eutrofización de agua dulce y marina.



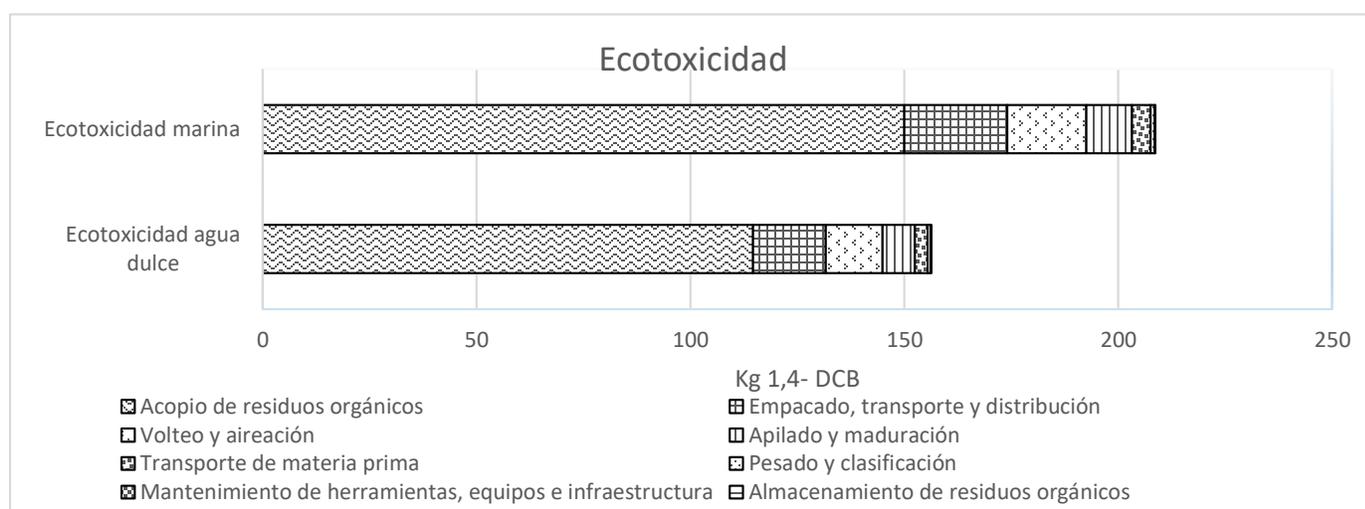
#### 4.2.9. Ecotoxicidad de agua dulce y marina.

La categoría de ecotoxicidad implica los efectos de las sustancias químicas, producidas de manera antropogénica o no, sobre los organismos acuáticos en este caso de agua dulce y mar, la evaluación de los impactos nos presenta resultados para estas categorías donde las mayores contribuciones se dan por los mismos procesos del tratamiento de residuos orgánicos, para la ecotoxicidad de agua dulce el almacenamiento de residuos orgánicos apporto con 797.35 Kg

1,4-DCB y el acopio de residuos orgánicos con 114.63 Kg 1,4-DCB, estando en proporción del total en 83.61% y 12.02% respectivamente, así mismo para la ecotoxicidad marina el almacenamiento residuos orgánicos aportó con 1054.17 Kg 1,4-DCB y el acopio de residuos orgánicos con 149.97 Kg 1,4-DCB, estando en proporción del total en 83.47% y 11.88% respectivamente, comparativamente según los resultados obtenidos la ecotoxicidad marina es mayor con 1262.91 Kg 1,4-DCB a la ecotoxicidad de agua dulce de 953.65 Kg 1,4-DCB mostrado a continuación.

Fig. 15.

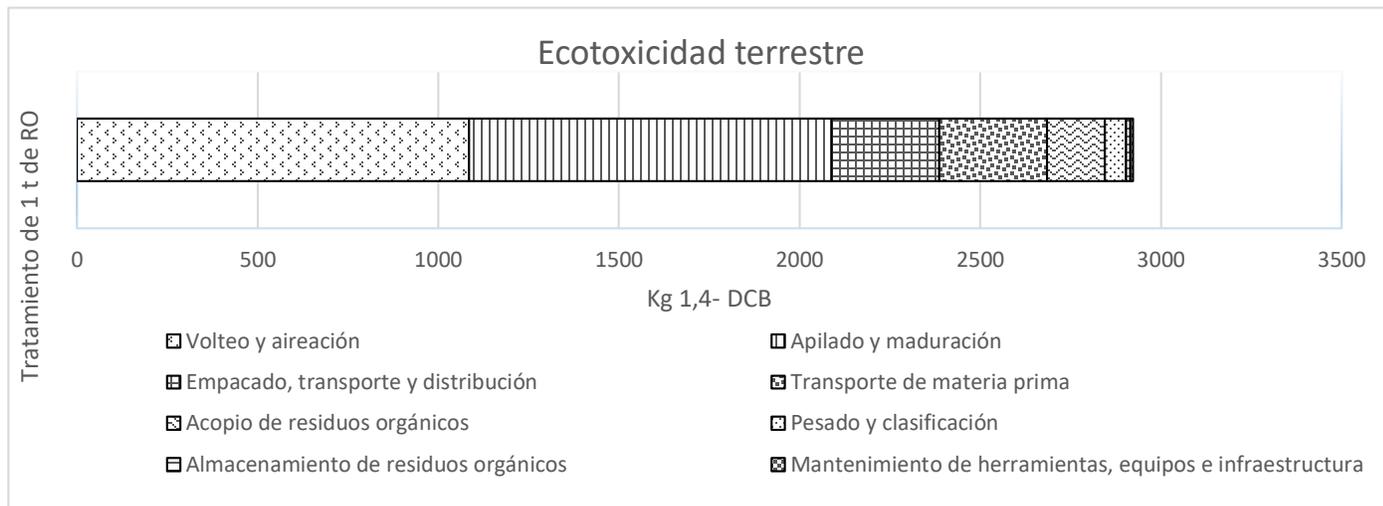
Ecotoxicidad de agua dulce y marina.



#### 4.2.10. Ecotoxicidad terrestre

Para el evaluación de ecotoxicidad terrestre el método utilizado ReCiPe nos muestra resultados en Kg 1,4-DCB, que hacen una referencia a los diferentes tipos de sustancias químicas que producen un efecto adverso sobre los organismos vivos terrestre, para el tratamiento de los residuos orgánicos en la planta de valorización de El Agustino los principales procesos aportantes a esta categoría son: Volteo y aireación con 1084 Kg 1,4-DCB, además de apilado y maduración con 1002.87 Kg 1,4-DCB, así mismo empacado, transporte y distribución con 299.48 Kg 1,4-DCB, finalmente transporte de materia prima con 297.18 Kg 1,4-DCB que representa una proporción de 37.11%, 34.31%, 10.24% y 10.17% respectivamente, la ecotoxicidad terrestre total evidenciada fue de 2923.35 Kg 1,4-DCB como se muestra.

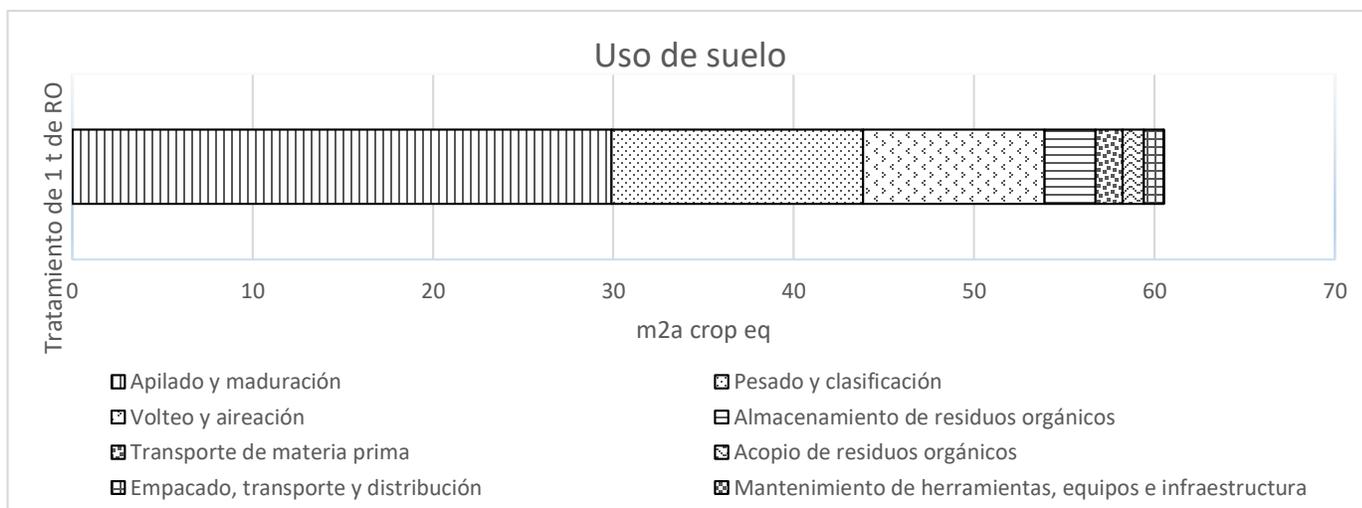
Fig. 16.  
Ecotoxicidad terrestre.



#### 4.2.11. Uso de suelo

En la categoría de uso de suelo se tomaron en cuenta los espacios que se destinaron para el tratamiento de residuos orgánicos en los diferentes procesos de la producción del compost, se midió en  $m^2a$  crop eq, los principales procesos que contribuyeron a esta categoría son los de: apilado y maduración con  $29.9 m^2a$  crop eq, pesado y clasificación con  $13.94 m^2a$  crop eq, volteo y aireación con  $10.05 m^2a$  crop eq y almacenamiento de residuos orgánicos  $2.85 m^2a$  crop eq, que representan en proporciones de 49.4%, 23.02% 16.67% y 4.7% del total respectivamente, el uso de suelo en total fue de  $60.55 m^2a$  crop eq.

Fig. 17.  
Uso de suelo.

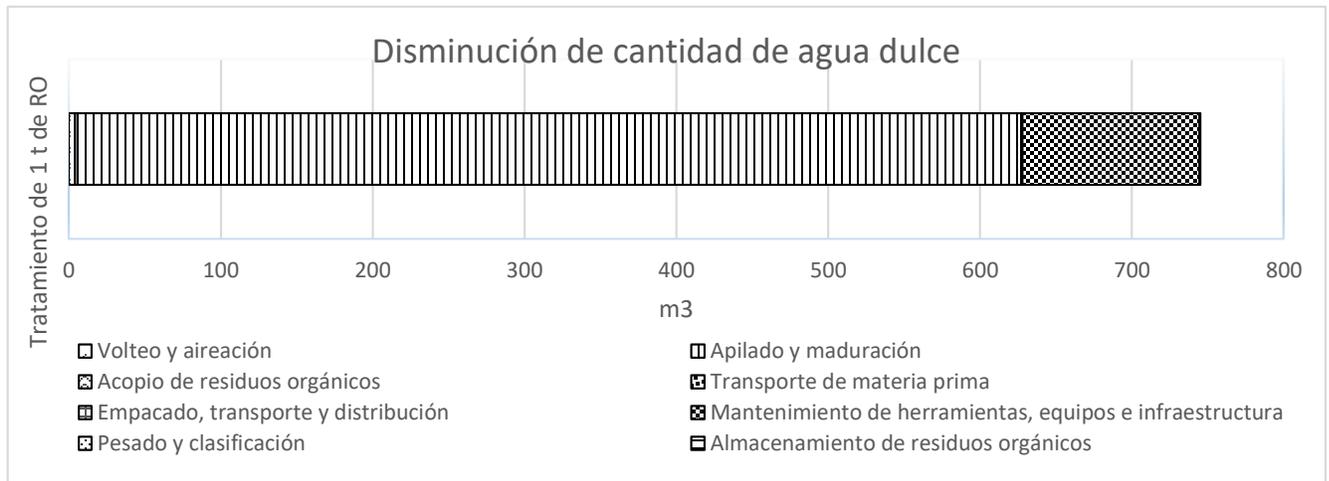


#### 4.2.12. Disminución de cantidad de agua dulce

El agua dulce recurso importante para la vida es usado en el proceso de tratamiento de residuos orgánicos en la municipalidad de El Agustino que utiliza agua potable para la producción del compost, el volumen total de agua usado es de 744.77 m<sup>3</sup> usados principalmente por los procesos de apilado y maduración con 623.26 m<sup>3</sup> y mantenimiento equipos, herramientas e infraestructura con 15.6 m<sup>3</sup>, que representan una proporción de 83.68% y 15.65% respectivamente del total.

Fig. 18.

Disminución de cantidad de agua dulce.

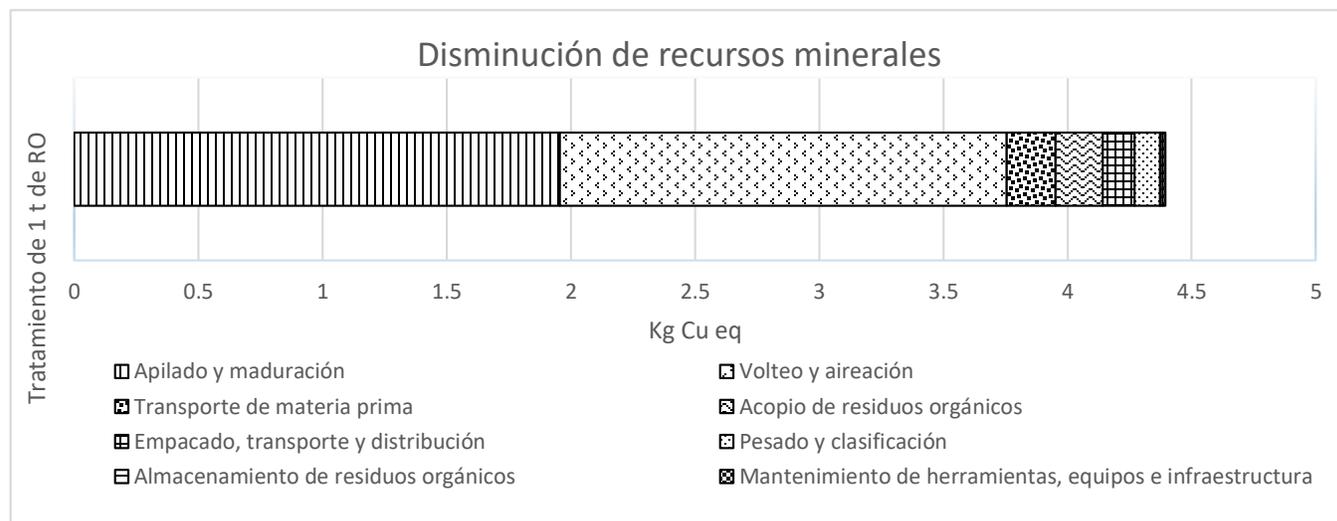


#### 4.2.13. Disminución de recursos minerales

En esta categoría los impactos ambientales no son de gran magnitud, se mide en kilogramos de cobre equivalente (Kg Cu eq) los principales procesos que aportan a esta categoría son apilado y maduración con 1.95 Kg Cu eq, además de 1.8 Kg Cu eq que están en proporción de 44.49% y 40.97% respectivamente del total, con una disminución total de recursos minerales de 4.39 Kg Cu eq.

Fig. 19.

Disminución de recursos minerales.

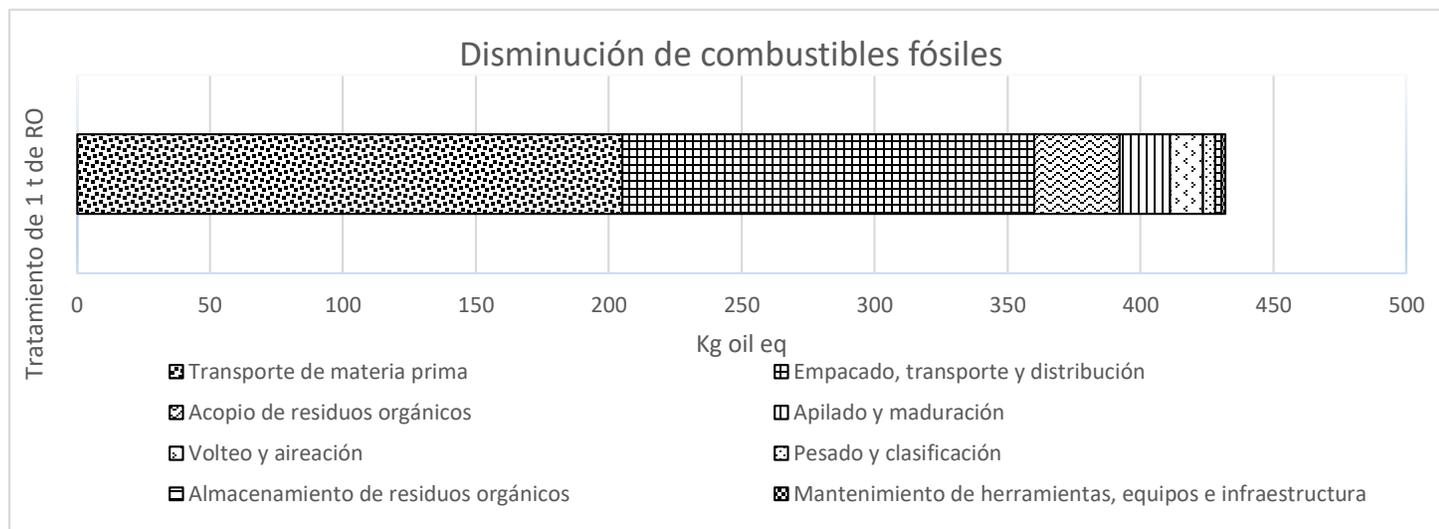


4.2.14. Disminución de combustibles fósiles

Los combustibles fósiles se refieren a materia orgánica formada a partir de descomposición de plantas y animales que son convertidos en petróleo, carbón, gas o aceites. Dentro del sistema de tratamiento de residuos orgánicos los procesos que mas contribuyeron a esta categoría son los de transporte de materia prima con 205.07 Kg oil eq y empacado, transporte y distribución con 155 Kg oil eq, siendo una proporción de 47.48% y 35.89% respectivamente del total, además la cantidad total de disminución de combustibles fósiles es de 431.94 Kg oil eq.

Fig. 20.

Diminución de combustibles fósiles.

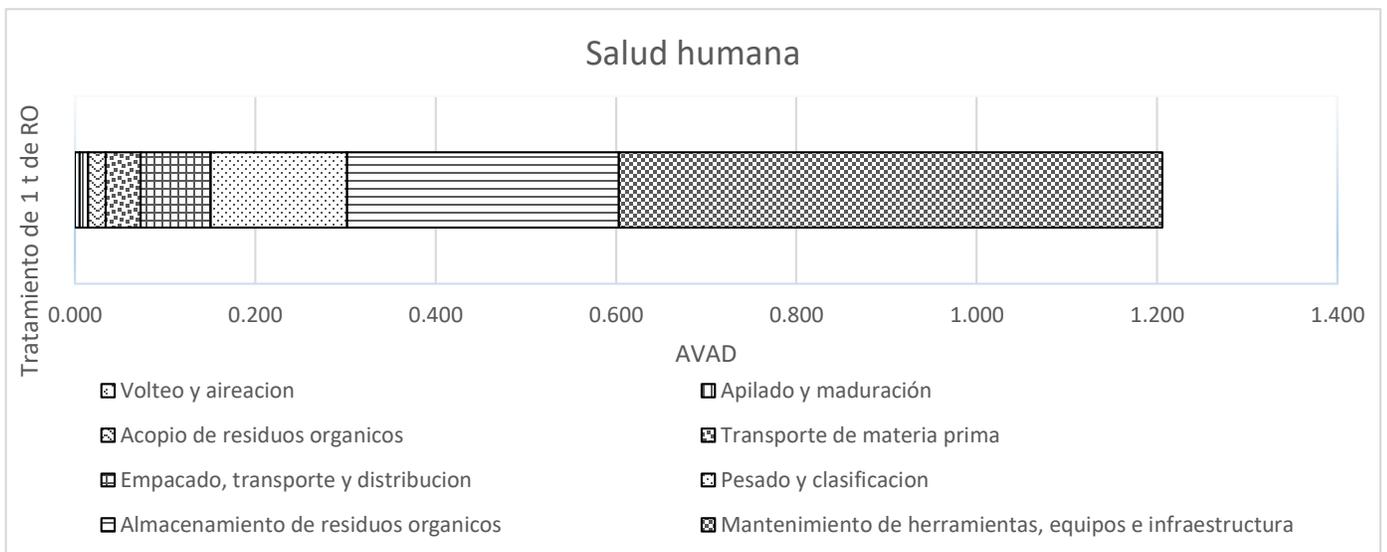


#### 4.2.15. Salud humana

La metodología ReCiPe también analiza los impactos para categorías de impacto final (endpoint) que son de una cuantificación mas debatible entre la comunidad científica, sin embargo, nos parece importante mostrar los resultados para servir como base en otras investigaciones, la categoría de salud humana tiene como unidad años de vida ajustados por discapacidad (DALY) se observa que los procesos que mas contribuyen a esta categoría son: mantenimiento de herramientas, equipos e infraestructura con 0.6 DALY, seguido de almacenamiento de residuos orgánicos con 0.3 DALY, finalmente pesado y clasificación con 0.15 DALY, que contribuyen en proporciones de 50%, 25% y 12.5% respectivamente, el total de años de vida ajustados por discapacidad son 1.21.

Fig. 21.

Salud humana.

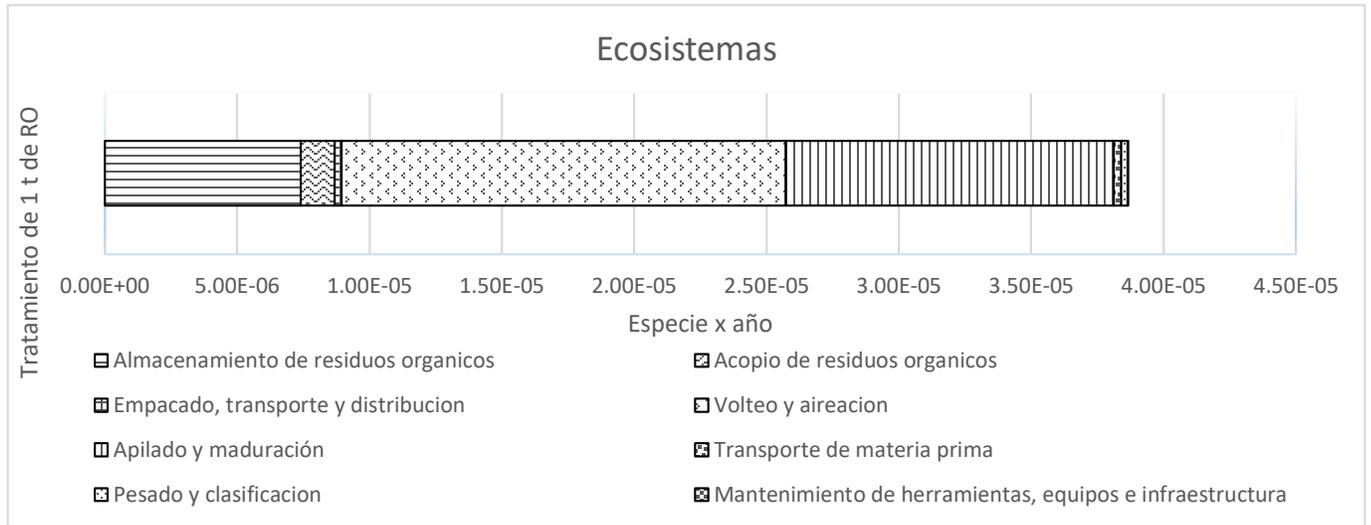


#### 4.2.16. Ecosistemas

La unidad para medir los impactos en los ecosistemas es de especies por año, pudiendo ser negativos los valores, lo cual indicaría que se está evitando la disminución de especies por año, sin embargo, la presente investigación nos muestra resultados positivos y los procesos que aportan en mayor medida a esta categoría son: volteo y aireación con  $1.68E-05$  especies por año, apilado y maduración con  $1.24E-05$  especies por año, finalmente almacenamiento

de residuos orgánicos con  $7.40E-06$ , la proporción que aportan estos procesos es de 43.4%, 32.08% y 19.13% de un total de  $3.87E-05$ .

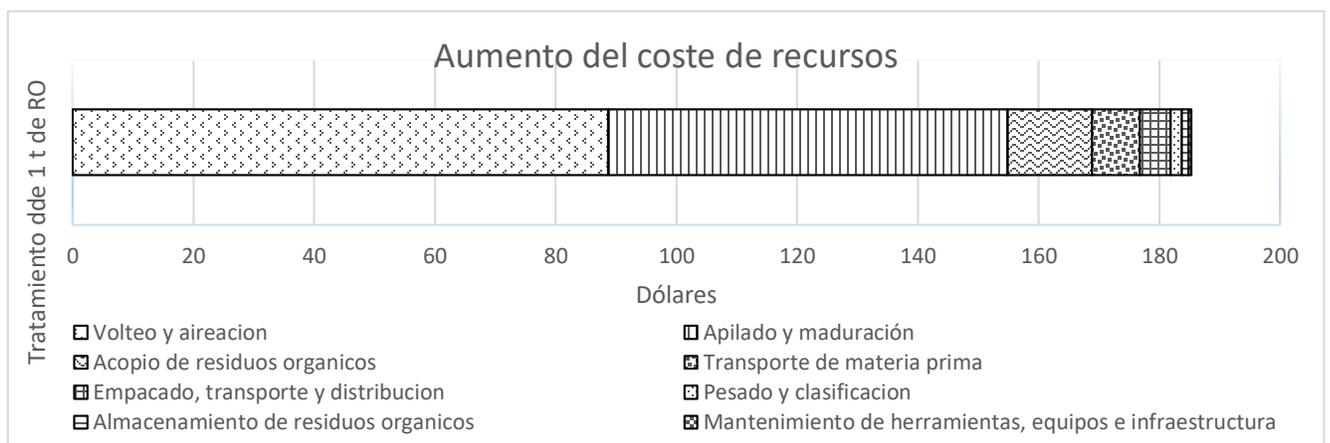
Fig. 22.  
Ecosistemas.



#### 4.2.17. Aumento del coste de recursos.

El aumento de costo de recursos ayuda a entender mejor desde una perspectiva de mercado como los impactos ambientales generan pérdidas económicas o evita costos, en la presente investigación los principales procesos generadores del aumento de costo de recursos son volteo y aireación con 88.68\$, seguido por apilado y maduración con 66.17\$, la proporción que aportan estos procesos al total es de 47.86% y 35.71% de un total de 185.31\$.

Fig. 23.  
Aumento del costo de recursos.



## V. DISCUSIÓN

Para la discusión se compararán los resultados obtenidos en la presente investigación con las investigaciones usadas como antecedentes, según Li et al. (2018) concluyó que el compostaje mostró los mejores resultados en cuanto a calentamiento global y reducir el uso de recursos, en contraste nuestra investigación muestra que una de las categorías más afectadas es la de calentamiento global, el uso de recursos como agua no es menor, esta diferencia puede deberse a que el proceso de compostaje estudiado por Li et al. (2018) contiene un pretratamiento con digestión anaerobia.

Masella et al. (2018) encontró que la mayoría de los impactos en el proceso de tratamiento por compostaje es debido al transporte de materia prima, en comparación el proceso de transporte brinda importantes aportes a las categorías de impacto pero no son los más importantes en nuestra investigación, esto puede deberse ya que Masella et al. (2018) lleva a cabo su investigación en Florencia, Italia y es un sistema de gestión para una ciudad completa, lo que ocasiona que se tenga que centralizar la planta ocasionando largos viajes desde los puntos más lejanos, como lo propone Masella et al. (2018) con vehículos más livianos, motores más eficientes, combustibles mejorados y una planta local in situ se logrará disminuir considerablemente los impactos ambientales.

Keng et al. (2020) realizó una investigación a escala comunitaria así que las características son similares, Keng et al. (2020) nos dice que para que el compostaje sea exitoso se debe combinar de manera correcta las partes de materia de carga y residuos orgánicos, además de esto la materia de carga debería ser un material a base de carbono, en el modelo de El Agustino se elabora el compost de manera más empírica por tanto estas especificaciones deberían revisarse y disminuir los impactos ambientales generados.

Behrooznia et al. (2018) encontró que el requerimiento de energía del escenario compostaje-vertedero (CL) fue 29% mayor que el del escenario vertedero (L) para el tratamiento de la misma cantidad de residuos sólidos urbanos (RSU). Transporte, combustible Diésel y maquinarias fueron los principales contribuyentes al consumo total de energía en ambos escenarios. En comparación a los resultados obtenidos, no se evaluaron dos escenarios de tratamiento de residuos orgánicos y los procesos de transporte por el uso de combustibles es el principal contribuyente al consumo total de energía.

Jensen, Møller y Scheutz (2016) la planta combinada de compostaje y biogás de la región alemana tuvo el desempeño ambiental más complejo con grandes sustituciones de electricidad y fertilizantes, pero también grandes emisiones de metano, óxido nitroso y amoniaco. En concordancia con los resultados obtenidos en la presente investigación que se evidencian, grandes emisiones de metano, óxido nitroso y amoniaco.

Khandelwal et al. (2019) encontraron que la combinación del reciclaje con compostaje de la fracción biodegradable y el vertido de residuos es la opción más adecuada, el análisis de sensibilidad también indicó que se reducen los impactos ambientales considerablemente al aumentar el reciclaje. Como recomendaciones Khandelwal et al. (2019) afirman que para descubrir una imagen completa del sistema de gestión de residuos sólidos se debe estudiar de manera social, económica y los factores psicológicos. En la presente investigación se evidencia que, debido a los residuos no orgánicos, que llegan a la planta de valorización, los impactos ambientales negativos se incrementan, además no se relacionaron los factores psicológicos, económicos y social.

## **VI. CONCLUSIONES**

El objetivo principal de la presente investigación fue analizar el ciclo de vida del compost, al término y mediante una comparación con otros modelos de compostaje se pudo observar que la producción de compost en El Agustino se realiza de manera casi artesanal, lo que incrementa los impactos ambientales en la mayoría de categorías evaluadas, además a diferencia de otros sistemas evaluados no existe pretratamiento para los residuos orgánicos, de la misma forma los residuos generados por la producción tiene fácil contacto directo con el ambiente y acceso a los ecosistemas aledaños, todo esto ocasionado por una falta de logística y procedimientos adecuados para el tratamiento de los residuos orgánicos, además la falta de instrumentos necesarios para el control del proceso, como termómetros, válvulas de flujo y medidores de humedad, ocasionan que el proceso no se realice de manera óptima.

Se reconoció que los impactos ambientales negativos que conlleva la producción del compost se pueden clasificar en impactos de punto medio e impactos de punto final, los impactos de punto medio son: Potencial de calentamiento global medido en unidades de Kg CO<sub>2</sub> eq, disminución de la capa de ozono en Kg CFC11 eq, toxicidad humana en Kg 1,4-DCB, formación de oxidantes fotoquímicos en Kg NO<sub>x</sub> eq, formación de material particulado en

Kg PM 2.5 eq, radiación ionizante en kBq Co-60 eq, acidificación terrestre en Kg N eq, eutrofización de agua dulce en Kg N eq , eutrofización de agua marina en Kg P eq, ecotoxicidad terrestre en Kg 1,4-DCB, ecotoxicidad marina en Kg 1,4-DCB, uso de suelo en m<sup>2</sup>a crop eq , disminución de agua dulce en m<sup>3</sup>, disminución de recursos minerales en Kg Cu eq, disminución de combustibles fósiles en Kg oil eq ; además también se pudieron evidenciar categorías de impacto final como: salud humana que se mide en años de vida ajustados por discapacidad, ecosistemas en especies por año y aumento del costo de recursos en \$.

Los procesos que generan los mayores impactos ambientales por el ciclo de vida del compost son: apilado y maduración, seguido por volteo y aireación los cuales pertenecen a la parte del compostaje de los residuos orgánicos, el proceso de apilado y maduración mostro los mayores impactos en las categorías de: Potencial de calentamiento global con 1085.59 Kg CO<sub>2</sub> eq, toxicidad humana con 14.03 Kg 1,4-DCB, formación de oxidantes fotoquímicos con 14.03 Kg 1,4-DCB, acidificación terrestre con 39.68 Kg SO<sub>2</sub>, ecotoxicidad terrestre con 1002.87 Kg 1,4-DCB, de la misma forma volteo y aireación mostro los mayores impactos en las categorías de potencial de calentamiento global con 2316.1 Kg CO<sub>2</sub> eq, toxicidad humana con 21.18 Kg 1,4-DCB y acidificación terrestre con 60.24 Kg SO<sub>2</sub> eq.

La magnitud de los impactos ambientales se obtuvieron gracias a la utilización del software OpenLCA el cual nos proporcionó los siguientes impactos por categorías, para el calentamiento global el total obtenido fue de 4982.4 kg CO<sub>2</sub> eq, formación de oxidantes fotoquímicos con 11.25 kg NO<sub>x</sub> eq, disminución de recursos minerales con 4.4 kg Cu eq, disminución de recursos fósiles 431.94 kg oil eq, acidificación terrestre 101 kg SO<sub>2</sub> eq, uso de suelo 60.55 m<sup>2</sup>a crop eq, uso de agua 623.26 m<sup>3</sup>, ecotoxicidad terrestre 2923.35 kg 1,4-DCB, toxicidad humana no cancerígena 72.59 kg 1,4-DCB, eutrofización de agua dulce 0.3 kg P eq, toxicidad humana cancerígena 22012.2 kg 1,4-DCB, ecotoxicidad marina 1262.91 kg 1,4-DCB, eutrofización marina 0.61 kg N eq, formación de material particulado 14.5 kg PM<sub>2.5</sub> eq, radiación ionizante 0.68 kBq Co-60 eq, ecotoxicidad de agua dulce 953.64 kg 1,4-DCB y disminución de la capa de ozono 0.024 kg CFC11 eq.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Se deberá no solo describir los flujos de entrada al sistema, sino también conocer las propiedades físico químicas del entorno y saber de qué manera se comportaran a el sistema

que se está evaluando, datos como el tipo de suelo, distancia de la capa freática, pH y un análisis químico de los cuerpos de agua cercanos, logran que los resultados puedan relacionarse de manera más certera con los posibles impactos en el ambiente, se tendría que comparar diferentes sistemas de gestión de residuos que son llevados a cabo por el mismo sujeto, de esta manera se podrá comparar cual es el modelo más óptimo y quizá combinar estos sistemas para una mejora continua en los procesos.

Se recomienda eliminar el proceso de almacenado de residuos orgánicos y promover el uso de los residuos para las camas de compostaje desde el momento que llegue a la planta de valorización, en caso no se logre eliminar este proceso ya sea por falta de capacidad productiva o logística, es necesario acondicionar un área protegida y no a la intemperie como lo es ahora, de esta forma disminuirán considerablemente los impactos ambientales causados por este proceso. Así mismo, se recomienda someter a los residuos orgánicos a un pretratamiento en reactores donde se podrán controlar las emisiones de gases, de esta manera la contribución a categorías como calentamiento global y acidificación disminuirá considerablemente, en el caso de los lixiviados, se debe llevar un control de la cantidad de humedad necesaria para el proceso de maduración e implementar un sistema de captado, tratamiento y eliminación de lixiviados, con esto se logran disminuir significativamente las contribuciones a las categorías como uso de agua y eutrofización.

Una forma de disminuir los impactos ambientales negativos es utilizar materia prima más óptima, por eso se recomienda un cambio en las estrategias de recolección de residuos orgánicos, pues llegan con grandes cantidades de biomasa, lo que genera altas contribuciones a las categorías de impacto, solo deberán ser tratados residuos orgánicos de origen vegetal, además de esto, se deberá asegurar que otros residuos inorgánicos llegue a la planta de valorización, evitando costos en transporte, clasificación y eliminación de residuos, en el caso de estiércol de caballo y para disminuir las emisiones que se origina a partir de este, se deberá controlar la alimentación del animal, con productos que no incluyan fermentación y se pueden disminuir los valores en las categorías de calentamiento global, además de esto se deberá reevaluar las rutas de recolección de materia prima, se debe pensar en optimizar el proceso de recolección haciendo rutas que puedan recoger lo necesario para el día en un solo

viaje y usando una sola movilidad, con el fin de poder recolectar una mayor cantidad de residuos se deben cambiar los camiones barandas por camiones compactadores.

## REFERENCIAS

BAENA PAZ, G. y PROQUEST., 2017. *Metodología de la investigación (3a. ed.)* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 9786077447528. Disponible en: <file:///C:/Users/Tony Sanchez/Downloads/metodologia de la investigacion Baena 2017.pdf>.

AGYEMAN, F.O. y TAO, W., 2014. Anaerobic co-digestion of food waste and dairy manure: Effects of food waste particle size and organic loading rate. *Journal of Environmental Management* [en línea], vol. 133, pp. 268-274. ISSN 10958630. DOI 10.1016/j.jenvman.2013.12.016. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.12.016>.

BAENA PAZ, G. y PROQUEST., 2017. *Metodología de la investigación (3a. ed.)*. S.l.: s.n. ISBN 9786077447528.

BALLARDO, C., VARGAS-GARCÍA, M. del C., SÁNCHEZ, A., BARRENA, R. y ARTOLA, A., 2020. Adding value to home compost: Biopesticide properties through *Bacillus thuringiensis* inoculation. *Waste Management* [en línea], vol. 106, pp. 32-43. ISSN 18792456. DOI 10.1016/j.wasman.2020.03.003. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.03.003>.

BEHROOZNI, L., SHARIFI, M., ALIMARDANI, R. y MOUSAVI-AVVAL, S.H., 2018a. Sustainability analysis of landfilling and composting-landfilling for municipal solid waste management in the north of Iran. *Journal of Cleaner Production*, vol. 203, pp. 1028-1038. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2018.08.307.

BEHROOZNI, L., SHARIFI, M., ALIMARDANI, R. y MOUSAVI-AVVAL, S.H., 2018b. Sustainability analysis of landfilling and composting-landfilling for municipal solid waste management in the north of Iran. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 203, pp. 1028-1038. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2018.08.307. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.307>.

CALDUCH, R., 2017. *Metodos y tecnicas de investigacion. Escuela Normal Superior- Mestros Argentinos*, vol. 2, pp. 180.

CAO, X. y HARRIS, W., 2010. Properties of dairy-manure-derived biochar pertinent to its

- potential use in remediation. *Bioresource Technology* [en línea], vol. 101, no. 14, pp. 5222-5228. ISSN 09608524. DOI 10.1016/j.biortech.2010.02.052. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.02.052>.
- CIROTH, A., 2007. ICT for environment in life cycle applications openLCA - A new open source software for Life Cycle Assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 12, no. 4, pp. 209-210. ISSN 09483349. DOI 10.1065/lca2007.06.337.
- COELHO, M.C. y ALMEIDA, D., 2015. Cycling mobility - A life cycle assessment based approach. *Transportation Research Procedia* [en línea], vol. 10, no. July, pp. 443-451. ISSN 23521465. DOI 10.1016/j.trpro.2015.09.094. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2015.09.094>.
- COLLINS, A., 2017. Ecological Footprint. *International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology*, pp. 1-3. DOI 10.1002/9781118786352.wbieg0018.
- DEMIRER, G.N. y CHEN, S., 2008. Anaerobic biogasification of undiluted dairy manure in leaching bed reactors. *Waste Management*, vol. 28, no. 1, pp. 112-119. ISSN 0956053X. DOI 10.1016/j.wasman.2006.11.005.
- DI MARIA, A., EYCKMANS, J. y VAN ACKER, K., 2020. *Use of LCA and LCC to help decision-making between downcycling versus recycling of construction and demolition waste* [en línea]. S.l.: Elsevier Ltd. ISBN 9780128190555. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819055-5.00026-7>.
- DODDS, W.K. y SMITH, V.H., 2016. Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in streams. *Inland Waters*, vol. 6, no. 2, pp. 155-164. ISSN 2044205X. DOI 10.5268/IW-6.2.909.
- ECORAE, 2013. Informe de Resultados del ACV del proceso. , pp. 115.
- EDWARDS, J., OTHMAN, M., CROSSIN, E. y BURN, S., 2018. Life cycle assessment to compare the environmental impact of seven contemporary food waste management systems. *Bioresource Technology* [en línea], vol. 248, pp. 156-173. ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2017.06.070. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.070>.

- EL-MASHAD, H.M. y ZHANG, R., 2010. Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste. *Bioresource Technology* [en línea], vol. 101, no. 11, pp. 4021-4028. ISSN 09608524. DOI 10.1016/j.biortech.2010.01.027. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.027>.
- EUROPEAN COMMISSION -- JOINT RESEARCH CENTRE -- INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND SUSTAINABILITY, 2010. *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook -- General guide for Life Cycle Assessment -- Detailed guidance* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 978-92-79-19092-6. Disponible en: <http://ict.jrc.ec.europa.eu/pdf-directory/ILCD-Handbook-General-guide-for-LCA-DETAIL-online-12March2010.pdf>.
- GALLI, F., PIROLA, C., PREVITALI, D., MANENTI, F. y BIANCHI, C.L., 2017. AC. *Journal of Cleaner Production* [en línea], ISSN 0959-6526. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.09.268. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.268>.
- HAUSCHILD, M.Z., 2017. *Introduction to LCA methodology*. S.l.: s.n. ISBN 9783319564753.
- HAYA, E., 2016. Análisis de Ciclo de Vida Master en Ingeniería y Gestión Medioambiental. [en línea], pp. 43. Disponible en: [https://static.eoi.es/savia/documents/teoria\\_acv\\_migma1.pdf](https://static.eoi.es/savia/documents/teoria_acv_migma1.pdf).
- HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ COLLADO, C. y BAPTISTA LUCIO, P., 1997. *Metodología dela investigación*. S.l.: s.n. ISBN 9684229313.
- HILLS, D.J. y NAKANO, K., 1984. Effects of particle size on anaerobic digestion of tomato solid wastes. *Agricultural Wastes*, vol. 10, no. 4, pp. 285-295. ISSN 01414607. DOI 10.1016/0141-4607(84)90004-0.
- HOEKSTRA, A.Y., 2017. Water Footprint Assessment: Evolvment of a New Research Field. *Water Resources Management*, vol. 31, no. 10, pp. 3061-3081. ISSN 15731650. DOI 10.1007/s11269-017-1618-5.
- 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. *Science of the Total Environment*, vol. 729, pp. 138622. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.138622.
- ISO, 2004. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework (ISO 14040:2006). *Environmental Management System Requirements*, vol. 44, no. 0. ISSN 1470-160X. DOI 10.1016/j.ecolind.2011.01.007.
- JENSEN, M.B., MØLLER, J. y SCHEUTZ, C., 2016. Comparison of the organic waste management systems in the Danish-German border region using life cycle assessment (LCA). *Waste Management* [en línea], vol. 49, pp. 491-504. ISSN 18792456. DOI 10.1016/j.wasman.2016.01.035. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.035>.
- KENG, Z.X., CHONG, S., NG, C.G., RIDZUAN, N.I., HANSON, S., PAN, G.T., LAU, P.L., SUPRAMANIAM, C.V., SINGH, A., CHIN, C.F. y LAM, H.L., 2020a. Community-scale composting for food waste: A life-cycle assessment-supported case study. *Journal of Cleaner Production*, vol. 261, pp. 121220. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.121220.
- KENG, Z.X., CHONG, S., NG, C.G., RIDZUAN, N.I., HANSON, S., PAN, G.T., LAU, P.L., SUPRAMANIAM, C.V., SINGH, A., CHIN, C.F. y LAM, H.L., 2020b. Community-scale composting for food waste: A life-cycle assessment-supported case study. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 261, pp. 121220. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.121220. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121220>.
- KHANDELWAL, H., THALLA, A.K., KUMAR, S. y KUMAR, R., 2019. Life cycle assessment of municipal solid waste management options for India. *Bioresource Technology* [en línea], vol. 288, no. May, pp. 121515. ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2019.121515. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121515>.
- LAMNATOU, C., MOTTE, F., NOTTON, G., CHEMISANA, D. y CRISTOFARI, C., 2018. Building-integrated solar thermal system with/without phase change material: Life

- cycle assessment based on ReCiPe, USEtox and Ecological footprint. *Journal of Cleaner Production*, vol. 193, pp. 672-683. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2018.05.032.
- LAMNATOU, C., NICOLAÏ, R., CHEMISANA, D., CRISTOFARI, C. y CANCELLIERI, D., 2019. Biogas production by means of an anaerobic-digestion plant in France: LCA of greenhouse-gas emissions and other environmental indicators. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 670, pp. 1226-1239. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.03.211. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.211>.
- LENZEN, M., SUN, Y.Y., FATURAY, F., TING, Y.P., GESCHKE, A. y MALIK, A., 2018. The carbon footprint of global tourism. *Nature Climate Change* [en línea], vol. 8, no. 6, pp. 522-528. ISSN 17586798. DOI 10.1038/s41558-018-0141-x. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/s41558-018-0141-x>.
- LI, A., KROEZE, C., KAHIL, T., MA, L. y STROKAL, M., 2019. Water pollution from food production: lessons for optimistic and optimal solutions. *Current Opinion in Environmental Sustainability* [en línea], vol. 40, pp. 88-94. ISSN 18773435. DOI 10.1016/j.cosust.2019.09.007. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.09.007>.
- LI, D.S., HUANG, Q.F., GUAN, L.H., ZHANG, H.Z., LI, X., FU, K.L., CHEN, Y.X., WAN, J.B., HUANG, M. y BI, H.C., 2020. Targeted bile acids and gut microbiome profiles reveal the hepato-protective effect of WZ tablet (Schisandra sphenanthera extract) against LCA-induced cholestasis. *Chinese Journal of Natural Medicines*, vol. 18, no. 3, pp. 211-218. ISSN 18755364. DOI 10.1016/S1875-5364(20)30023-6.
- LI, Y., MANANDHAR, A., LI, G. y SHAH, A., 2018. Life cycle assessment of integrated solid state anaerobic digestion and composting for on-farm organic residues treatment. *Waste Management*, vol. 76, pp. 294-305. ISSN 18792456. DOI 10.1016/j.wasman.2018.03.025.
- LI, Yangyang, LI, Yu, ZHANG, D., LI, G., LU, J. y LI, S., 2016. Solid state anaerobic co-digestion of tomato residues with dairy manure and corn stover for biogas production.

- Bioresource Technology*, vol. 217, pp. 50-55. ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2016.01.111.
- LI, Z., YIN, F., LI, H., WANG, X. y LIAN, J., 2013. A novel test method for evaluating the methane gas permeability of biogas storage membrane. *Renewable Energy* [en línea], vol. 60, pp. 572-577. ISSN 09601481. DOI 10.1016/j.renene.2013.06.010. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2013.06.010>.
- LIANG, T., WANG, S., LU, C., JIANG, N., LONG, W., ZHANG, M. y ZHANG, R., 2020. Environmental impact evaluation of an iron and steel plant in China: Normalized data and direct/indirect contribution. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 264, pp. 121697. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.121697. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121697>.
- LINHARES, T., TERESA, M. y AMORIM, P. De, 2017. ScienceDirect ScienceDirect LCA of textile dyeing with Acacia Dealbata tree bark : a case study research. *Procedia Engineering*, vol. 200, pp. 365-369. ISSN 1877-7058. DOI 10.1016/j.proeng.2017.07.051.
- 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* [en línea], vol. 20, pp. 304-315. ISSN 23525509. DOI 10.1016/j.spc.2019.07.005. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2019.07.005>.
- LUIS, P., 2004. Población Muestra Y Muestreo. *Punto Cero*, vol. 09, no. 08, pp. 69-74. ISSN 1815-0276.
- MANCINI, E., ARZUMANIDIS, I. y RAGGI, A., 2019. Evaluation of potential environmental impacts related to two organic waste treatment options in Italy. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 214, pp. 927-938. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2018.12.321. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.321>.
- MARGALLO, M., ZIEGLER-RODRIGUEZ, K., VÁZQUEZ-ROWE, I., ALDACO, R.,

- IRABIEN, Á. y KAHHAT, R., 2019. Science of the Total Environment Enhancing waste management strategies in Latin America under a holistic environmental assessment perspective : A review for policy support. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 689, pp. 1255-1275. ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.06.393. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.393>.
- MASELLA, P., GUERRINI, L., ANGELONI, G. y PARENTI, A., 2018. Environmental Impact Assessment of Municipal Solid Waste (MSW) Management in Florence, Italy. *European Journal of Sustainable Development*, vol. 7, no. 3, pp. 387-395. ISSN 22395938. DOI 10.14207/ejsd.2018.v7n3p387.
- MINAM, 2012. Informe anual de residuos sólidos municipales y no municipales en el Perú Gestión 2012. *Ministerio del Ambiente* [en línea], pp. 270. Disponible en: <http://www.redrrss.pe/material/20140423145035.pdf>.
- NERI, E., PASSARINI, F., CESPI, D., ZOFFOLI, F. y VASSURA, I., 2018. Sustainability of a bio-waste treatment plant: Impact evolution resulting from technological improvements. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 171, pp. 1006-1019. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.10.082. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.082>.
- OLDFIELD, T.L., WHITE, E. y HOLDEN, N.M., 2018. The implications of stakeholder perspective for LCA of wasted food and green waste. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 170, pp. 1554-1564. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.09.239. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.239>.
- OLIVEIRA, L.S.B.L., OLIVEIRA, D.S.B.L., BEZERRA, B.S., SILVA PEREIRA, B. y BATTISTELLE, R.A.G., 2017. Environmental analysis of organic waste treatment focusing on composting scenarios. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 155, pp. 229-237. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2016.08.093. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.093>.
- OTZEN, T. y MANTEROLA, C., 2017. Técnicas de Muestreo sobre una Población a

Estudio. *International Journal of Morphology*, vol. 35, no. 1, pp. 227-232. ISSN 07179502. DOI 10.4067/S0717-95022017000100037.

PACE, S.A., YAZDANI, R., KENDALL, A., SIMMONS, C.W. y VANDERGHEYNST, J.S., 2018. Impact of organic waste composition on life cycle energy production, global warming and Water use for treatment by anaerobic digestion followed by composting. *Resources, Conservation and Recycling* [en línea], vol. 137, no. May, pp. 126-135. ISSN 18790658. DOI 10.1016/j.resconrec.2018.05.030. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.05.030>.

PADRÓN PÁEZ, J.I., CARVALHO, A., PRADO-RUBIO, O.A. y ROMÁN-MARTÍNEZ, A., 2017. *Assessment of sustainable wastewater treatment networks design applying LCA*. S.l.: Elsevier Masson SAS. ISBN 9780444639653.

PERGOLA, M., PICCOLO, A., PALESE, A.M., INGRAO, C., DI MEO, V. y CELANO, G., 2018. A combined assessment of the energy, economic and environmental issues associated with on-farm manure composting processes: Two case studies in South of Italy. *Journal of Cleaner Production*, vol. 172, pp. 3969-3981. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.04.111.

PERINI, S., LUGLIETTI, R., MARGOUDI, M., OLIVEIRA, M. y TAISCH, M., 2018. Learning and motivational effects of digital game-based learning (DGBL) for manufacturing education –The Life Cycle Assessment (LCA) game. *Computers in Industry* [en línea], vol. 102, pp. 40-49. ISSN 01663615. DOI 10.1016/j.compind.2018.08.005. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.08.005>.

POWELL, J.T. y CHERTOW, M.R., 2019. Quantity, Components, and Value of Waste Materials Landfilled in the United States. *Journal of Industrial Ecology*, vol. 23, no. 2, pp. 466-479. ISSN 15309290. DOI 10.1111/jiec.12752.

PRATIWI, A., RAVIER, G. y GENTER, A., 2018. Life-cycle climate-change impact assessment of enhanced geothermal system plants in the Upper Rhine Valley. *Geothermics* [en línea], vol. 75, no. August 2017, pp. 26-39. ISSN 03756505. DOI 10.1016/j.geothermics.2018.03.012. Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2018.03.012>.

PUSHKAR, S., 2019. Modeling the substitution of natural materials with industrial byproducts in green roofs using life cycle assessments. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 227, pp. 652-661. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.04.237. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.237>.

RANA, A., DYCK, R., HU, G., HEWAGE, K., RODRIGUEZ, M.J., ALAM, M.S. y SADIQ, R., 2020. A process-based LCA for selection of low-impact DBPs control strategy for indoor swimming pool operation. *Journal of Cleaner Production*, pp. 122372. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.122372.

RAOUFI, K., WISTHOFF, A.K., DUPONT, B.L. y HAAPALA, K.R., 2019. A questionnaire-based methodology to assist non-experts in selecting sustainable engineering analysis methods and software tools. *Journal of Cleaner Production*, vol. 229, pp. 528-541. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.05.016.

RATTANATUM, T., FRAUZEM, R., MALAKUL, P. y GANI, R., 2018. *LCSoft as a Tool for LCA: New LCIA Methodologies and Interpretation* [en línea]. S.l.: Elsevier Masson SAS. ISBN 9780444642356. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64235-6.50005-X>.

RECANATI, F., ARRIGONI, A., SCACCABAROZZI, G., MARVEGGIO, D., MELIÀ, P. y DOTELLI, G., 2018. LCA Towards Sustainable Agriculture: The Case Study of Cupuaçu Jam from Agroforestry. *Procedia CIRP*, vol. 69, no. May, pp. 557-561. ISSN 22128271. DOI 10.1016/j.procir.2017.11.003.

RESENDE, J.D., NOLASCO, M.A. y PACCA, S.A., 2019. Life cycle assessment and costing of wastewater treatment systems coupled to constructed wetlands. *Resources, Conservation and Recycling* [en línea], vol. 148, no. August 2018, pp. 170-177. ISSN 18790658. DOI 10.1016/j.resconrec.2019.04.034. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.04.034>.

REZAEI, F., BULLE, C. y LESAGE, P., 2019. Integrating building information modeling and life cycle assessment in the early and detailed building design stages. *Building and Environment* [en línea], vol. 153, no. February, pp. 158-167. ISSN 03601323. DOI

- 10.1016/j.buildenv.2019.01.034. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.01.034>.
- SABIA, E., GAULY, M., NAPOLITANO, F., SERRAPICA, F., CIFUNI, G.F. y CLAPS, S., 2020. Dairy sheep carbon footprint and ReCiPe end-point study. *Small Ruminant Research* [en línea], vol. 185, pp. 106085. ISSN 09214488. DOI 10.1016/j.smallrumres.2020.106085. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2020.106085>.
- SALAZAR, C., 2018. Fundamentos Básicos De Estadística. ,
- SCHLANBUSCH, R.D., FUFA, S.M., HÄKKINEN, T., VARES, S., BIRGISDOTTIR, H. y YLMÉN, P., 2016. Experiences with LCA in the Nordic Building Industry - Challenges, Needs and Solutions. *Energy Procedia* [en línea], vol. 96, no. 1876, pp. 82-93. ISSN 18766102. DOI 10.1016/j.egypro.2016.09.106. Disponible en:  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.106>.
- SILVA-MARTÍNEZ, R.D. y SANCHES-PEREIRA, A., 2018. Organic waste to energy in Latin America and the Caribbean (Lac); state-of-the-art literature review. *European Biomass Conference and Exhibition Proceedings* [en línea], vol. 2018, no. 26thEUBCE, pp. 149-165. ISSN 22825819. DOI 10.1016/j.renene.2020.04.056. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.056>.
- THIES, C., KIECKHÄFER, K., SPENGLER, T.S. y SODHI, M.S., 2019. Assessment of social sustainability hotspots in the supply chain of lithium-ion batteries. *Procedia CIRP* [en línea], vol. 80, pp. 292-297. ISSN 22128271. DOI 10.1016/j.procir.2018.12.009. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.12.009>.
- ULUDAG-DEMIRER, S., DEMIRER, G.N., FLEAR, C. y CHEN, S., 2008. Anaerobic digestion of dairy manure with enhanced ammonia removal. *Journal of Environmental Management*, vol. 86, no. 1, pp. 193-200. ISSN 03014797. DOI 10.1016/j.jenvman.2006.12.002.
- VAVERKOVÁ, M.D., ADAMCOVÁ, D., WINKLER, J., KODA, E., PETRŽELOVÁ, L. y MAXIANOVÁ, A., 2020. Alternative method of composting on a reclaimed municipal waste landfill in accordance with the circular economy: Benefits and risks. *Science of*

*the Total Environment*, vol. 723, pp. 1-8. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.137971.

VINCI, G., ASCENZO, F.D., ESPOSITO, A., MUSARRA, M., RAPA, M. y ROCCHI, A., 2019. A sustainable innovation in the Italian glass production : LCA and Eco- Care matrix evaluation. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 223, pp. 587-595. ISSN 0959-6526. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.03.124. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.124>.

WANG, L., LI, Y., CHEN, P., MIN, M., CHEN, Y., ZHU, J. y RUAN, R.R., 2010. Anaerobic digested dairy manure as a nutrient supplement for cultivation of oil-rich green microalgae *Chlorella* sp. *Bioresource Technology* [en línea], vol. 101, no. 8, pp. 2623-2628. ISSN 09608524. DOI 10.1016/j.biortech.2009.10.062. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.10.062>.

WITJES, S. y LOZANO, R., 2016. Towards a more Circular Economy: Proposing a framework linking sustainable public procurement and sustainable business models. *Resources, Conservation and Recycling* [en línea], vol. 112, pp. 37-44. ISSN 18790658. DOI 10.1016/j.resconrec.2016.04.015. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.04.015>.

XU, F., SHI, J., LV, W., YU, Z. y LI, Y., 2013. Comparison of different liquid anaerobic digestion effluents as inocula and nitrogen sources for solid-state batch anaerobic digestion of corn stover. *Waste Management* [en línea], vol. 33, no. 1, pp. 26-32. ISSN 0956053X. DOI 10.1016/j.wasman.2012.08.006. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2012.08.006>.

ZHANG, B., SU, S., ZHU, Y. y LI, X., 2020. An LCA-based environmental impact assessment model for regulatory planning. *Environmental Impact Assessment Review* [en línea], vol. 83, no. April, pp. 106406. ISSN 01959255. DOI 10.1016/j.eiar.2020.106406. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106406>.

ZHANG, Z., ZHU, K. y HEWINGS, G.J.D., 2017. A multi-regional input–output analysis of the pollution haven hypothesis from the perspective of global production fragmentation. *Energy Economics* [en línea], vol. 64, pp. 13-23. ISSN 01409883. DOI

10.1016/j.eneco.2017.03.007.

Disponible

en:

[http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2017.03.007.](http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2017.03.007)

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

**TÍTULO**

Análisis de ciclo de vida y los impactos ambientales negativos del compost producido en la  
Municipalidad de El Agustino, 2020.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

**AUTORES:**

GARCÍA YAURICASSA, JUAN JIMMY

ORCID: 0000-0001-5770-9940

LLERENA SALDAÑA, JOSSELYN

ORCID: 0000-0003-1569-4773

**ASESOR:**

MG. UGARTE ALVAN CARLOS ALFREDO

ORCID: 0000-0001-6017-1192

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL

LIMA – PERÚ

2020

## **DEDICATORIA**

Agradecer primero a Dios, por haber permitido llegar hasta aquí hoy, por darme fuerza y salud para llevar a cabo mis metas y objetivos

A mi madre, por ser la persona que me ha acompañado durante todo mi proyecto estudiantil y de vida, que ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles.

a mi padre, por haberme apoyado en cada uno de mis pasos, por la motivación constante que permitieron que hoy en día sea la persona que soy y por su amor incondicional.

A mis hermanos, por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

Al Mg. Ugarte Alvan, Carlos Alfredo que es Asesor de este trabajo, por su dedicación y paciencia y al Dr. Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio por brindarnos siempre su apoyo.

**Josselyn Llerena Saldaña.**

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi padre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones.

A mi madre, que me dio la vida, el cual, a pesar de haberla perdido a muy temprana edad, ha estado siempre cuidándome y guiándome desde el cielo, siento que estás conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí.

A mi hermano, por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuesta a escucharme y ayudarme en cualquier momento. Por último, quiero dedicar este trabajo a mi abuela, gracias a su apoyo y aliento incondicional puedo culminar mis sueños.

Al Mg. Ugarte Alvan, Carlos Alfredo que es Asesor de este trabajo, por su dedicación y paciencia, sus consejos nos ayudaron a hacer una investigación mucho mejor y al Dr. Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio por siempre brindarnos siempre su apoyo.

**Juan Jimmy Garcia Yauricasa.**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad, brindándonos paciencia y sabiduría para culminar con éxito nuestras metas propuestas.

A nuestras familia, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado.

Agradecemos a nuestra Universidad Cesar Vallejo, a los docentes de la Escuela de Ingeniería Ambiental por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión.

Al Dr. Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio por siempre brindarnos su apoyo moral, tener paciencia y brindar consejos oportunos para el bien y que contribuyeron a la culminación de esta investigación.

Finalmente, de manera especial quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Mg. Ugarte Alvan, Carlos Alfredo asesor de nuestro proyecto de investigación quien, con su dirección, conocimiento, enseñanza, paciencia, y su rectitud como docente, permitió el desarrollo de este trabajo.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS.

RESUMEN .....	VII
ABSTRAC.....	VIII
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEORICO .....	5
III. METODOLOGÍA.....	13
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	13
3.2. Variables y operacionalización.....	14
3.3 POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO.....	16
3.3.1. Población .....	16
3.3.2. Muestra .....	16
3.3.3. Muestreo .....	16
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos. ....	16
3.5. Procedimiento.....	18
3.5.1. Descripción de la fabricación de compost.....	19
3.5.2. Definición de alcance y objetivos.....	19
3.5.3. Análisis de inventario .....	22
3.6 MÉTODO DE ANÁLISIS DE DATOS.....	26
3.6.1. Método Analítico.....	26
3.6.2. ReCiPe.....	26
IV. RESULTADOS .....	26
4.1. Inventario de ciclo de vida.....	26
4.2. Resultados de los impactos ambientales.....	27
4.2.1. Potencial de calentamiento global. ....	27

4.2.2. Disminución de la capa de ozono. ....	28
4.2.3. Toxicidad humana. ....	29
4.2.4. Formación de oxidantes fotoquímicos.....	30
4.2.5. Formación de materia particulada .....	31
4.2.6. Radiación ionizante .....	31
4.2.7. Acidificación terrestre .....	32
4.2. 8. Eutrofización de agua dulce y marina. ....	33
4.2.9. Ecotoxicidad de agua dulce y marina. ....	33
4.2.10. Ecotoxicidad terrestre .....	34
4.2.11. Uso de suelo.....	35
4.2.12. Disminución de cantidad de agua dulce .....	36
4.2.13. Disminución de recursos minerales .....	36
4.2.14. Disminución de combustibles fósiles .....	37
4.2.15. Salud humana .....	38
4.2.16. Ecosistemas .....	38
4.2.17. Aumento del coste de recursos. ....	39
V. DISCUSIÓN.....	40
VI. CONCLUSIONES.....	41
VII. RECOMENDACIONES .....	42
REFERENCIAS .....	45

## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	14
Tabla 2. Caracterización de residuos aprovechables .....	22
Tabla 3. Recorrido de transporte. ....	23
Tabla 4. Composiciones de materia prima. ....	24
Tabla 5. Entradas al sistema de producción .....	27

## ÍNDICE DE FIGURAS.

Fig. 1. Composición de residuos sólidos globales.....	2
Fig. 2. Generación de residuos sólidos en Perú para el 2019. ....	3
Fig. 3. Esquema de procedimiento de ACV .....	18
Fig. 4. Mapa de planta de valorización de residuos orgánicos. ....	20
Figura 5. Sistema de producción del compost.....	21
Fig. 6. Potencial de calentamiento global.....	28
Fig. 7. Disminución de la capa de ozono.....	29
Fig. 8. Toxicidad humana no cancerígena.....	30
Fig. 9 Toxicidad humana cancerígena.....	30
Fig. 10. Formación de oxidantes fotoquímicos. ....	31
Fig. 11. Formación de material particulado.....	31
Fig.12. Radiación Ionizante.....	32
Fig.13.Acidificación terrestre. ....	33
Fig.14. Eutrofización de agua dulce y marina. ....	34
Fig. 15. Ecotoxicidad de agua dulce y marina.....	35
Fig. 16. Ecotoxicidad terrestre.....	35
Fig. 17. Uso de suelo. ....	36
Fig. 18. Disminución de cantidad de agua dulce.....	36
Fig. 19. Disminución de recursos minerales.....	37
Fig. 20. Diminución de combustibles fósiles. ....	38
Fig. 21. Salud humana. ....	38
Fig. 22. Ecosistemas. ....	39
Fig. 23. Aumento del costo de recursos.....	40

## RESUMEN

El objetivo principal de la presente investigación fue analizar el ciclo de vida del compost, se reconoció que los impactos ambientales negativos que conlleva la producción del compost, la magnitud de los impactos ambientales se obtuvieron gracias a la utilización del software OpenLCA la unidad funcional que se utilizó fue el tratamiento de 1 tonelada (t) de residuos orgánicos, Los procesos que generan los mayores impactos ambientales por el ciclo de vida del compost son: apilado y maduración, seguido por volteo y aireación los cuales pertenecen a la parte del compostaje de los residuos orgánicos, el proceso de apilado y maduración mostro los mayores impactos en las categorías de: Potencial de calentamiento global con 1085.59 Kg CO<sub>2</sub> eq, toxicidad humana con 14.03 Kg 1,4-DCB, formación de oxidantes fotoquímicos con 14.03 Kg 1,4-DCB, acidificación terrestre con 39.68 Kg SO<sub>2</sub>, ecotoxicidad terrestre con 1002.87 Kg 1,4-DCB, de la misma forma volteo y aireación mostro los mayores impactos en las categorías de potencial de calentamiento global con 2316.1 Kg CO<sub>2</sub> eq, toxicidad humana con 21.18 Kg 1,4-DCB y acidificación terrestre con 60.24 Kg SO<sub>2</sub> eq.

**Palabras claves:** Compost, análisis de ciclo de vida, categorías de impacto.

## ABSTRAC

The main objective of this research was to analyze the life cycle of compost, it was recognized that the negative environmental impacts that compost production entails, the magnitude of environmental impacts were obtained thanks to the use of the OpenLCA software, the functional unit that is used was the treatment of 1 ton (t) of organic waste. The processes that generate the greatest environmental impacts for the life cycle of compost are: stacking and maturation, followed by turning and aeration, which belong to the composting part of the organic waste, the stacking and maturation process showed the greatest impacts in the categories of: Global warming potential with 1085.59 Kg CO<sub>2</sub> eq, human toxicity with 14.03 Kg 1,4-DCB, formation of photochemical oxidants with 14.03 Kg 1,4-DCB, terrestrial acidification with 39.68 Kg SO<sub>2</sub>, terrestrial ecotoxicity with 1002.87 Kg 1,4-DCB, in the same way turning and aeration showed the greatest impacts in the categories of global warming potential with 2316.1 Kg CO<sub>2</sub> eq, human toxicity with 21.18 Kg 1,4-DCB and terrestrial acidification with 60.24 Kg SO<sub>2</sub> eq.

**Key words:** Compost, life cycle analysis, impact categories.

## I. INTRODUCCIÓN

La producción de bienes y servicios viene contribuyendo a la contaminación ambiental afectando a la sociedad y la naturaleza (Li et al. 2019) Recientemente ha habido una creciente conciencia de que el problema ambiental es un problema global y cuya solución requiere un enfoque hacia la sostenibilidad (Witjes y Lozano 2016; Zhang, Zhu y Hewings 2017) Por lo anteriormente expuesto es necesario estudiar todo el proceso de producción de un bien y así identificar donde se generan los impactos ambientales negativos, las causas de estos impactos y cuantificar su magnitud.

El interés por preservar el medio ambiente ha ido generando diferentes maneras para evaluar los impactos ambientales producidos por acción antropogénica, una de estas herramientas es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) o Life Cycle Assessment (LCA), tiene como finalidad analizar de forma objetiva, metódica, sistemática y científica, el impacto ambiental originado por un proceso y/o producto durante todo su ciclo de vida completo (Haya 2016), esto permite una mayor comprensión del impacto que genera el producto durante toda su existencia y consolida el ACV como una solución sólida y técnica completa en gestión ambiental moderna (Di Maria, Eyckmans y Van Acker 2020). Los estudios de ACV se han desarrollado para aplicaciones en diferentes áreas, tales como: Medicina, administración, industria, Sistemas de transporte, educación (Coelho y Almeida 2015; LI et al. 2020; Perini et al. 2018; Zhang et al. 2020; Schlanbusch et al. 2016) entre los principales software en la actualidad encontramos algunos que son sistemas totalmente equipados y requieren licencias comerciales costosas como: SimaPro, Gabi y Umberto (Raoufi et al. 2019; Liang et al. 2020) mientras otros son de uso abierto como openLCA (Lopes Silva et al. 2019; Thies et al. 2019; Rezaei, Bulle y Lesage 2019; Pratiwi, Ravier y Genter 2018; Resende, Nolasco y Pacca 2019).

En la presente investigación se utilizó el openLCA cuya primera publicación se da en 2007 por Andreas Ciroth en el trabajo titulado “*ICT for Environmental in Life Cycle Applications openLCA – A new open source software for Life Cycle Assessment*” que sirve como introducción y presenta un nuevo software para LCA de código abierto (Ciroth 2007).

Se utilizó el openLCA para hacer un análisis de ciclo de vida del compost, producto que se

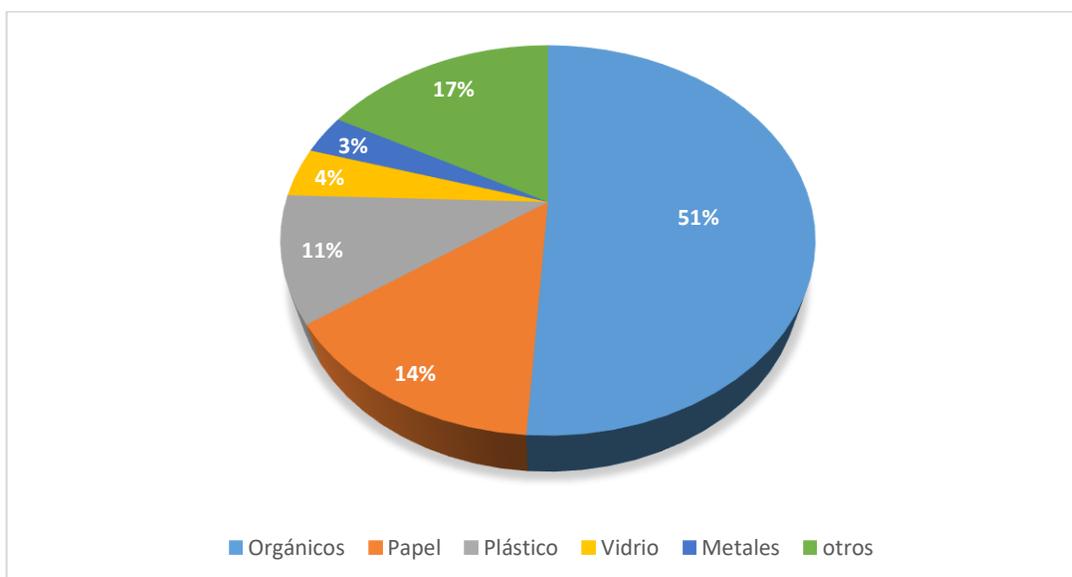
obtiene de los residuos orgánicos que se descomponen de manera controlada normalmente a causa de organismos biológicos (Vaverková et al. 2020).

Los residuos sólidos siguen siendo un grave peligro para la salud humana en los países en desarrollo, toda la región de América Latina aún enfrenta desafíos como la existencia de espacios donde se vierten los residuos de manera descontrolada y las bajas tasas de recuperación de residuos que están por debajo del 4%, además de esto la utilización de otras tecnologías más sofisticadas como la digestión anaerobia aún están rezagadas (Margallo et al. 2019). En un esfuerzo por disminuir el impacto de los miles de toneladas de residuos sólidos que se generan a diario, se han implementado diferentes formas de manejar los desechos tales como: digestión anaerobia, compostaje, incineración e incluso sistemas combinados entre estos (Iqbal, Liu y Chen 2020) saber la composición de los desechos es esencial para aplicar adecuados protocolos y tecnologías de tratamiento de residuos (Powell y Chertow 2019).

La composición de los residuos sólidos globales promedio son: Orgánicos (51%), papel (14.1%), plástico (10.4%), vidrio (4.10%), metales (3.3%) y otros materiales indefinidos (17%) (Margallo et al. 2019). }

Fig. 1.

Composición de residuos solidos globales.

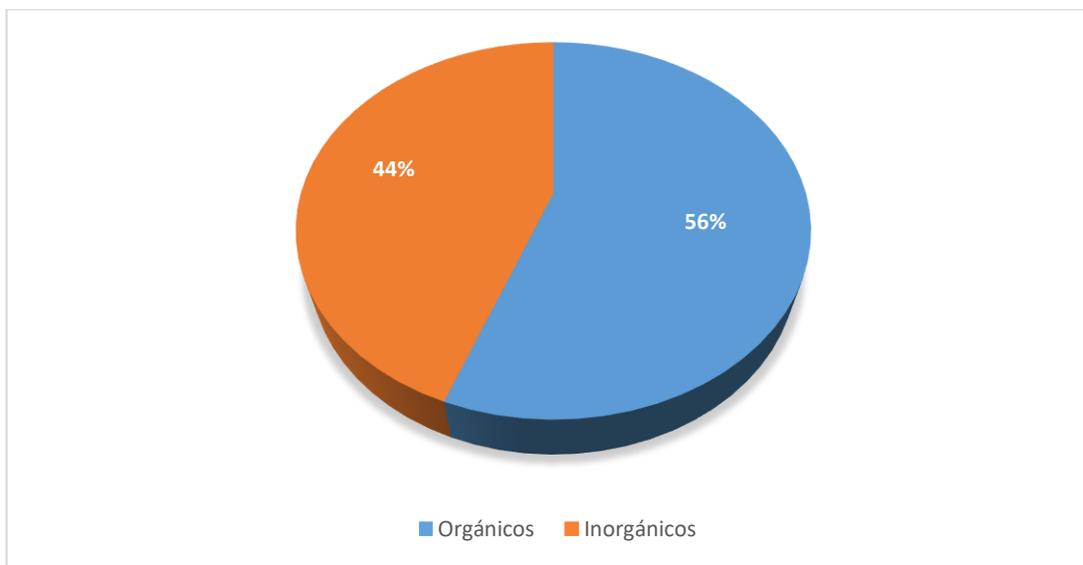


En el Perú se estima que la generación per cápita en el año 2019 fue de 0.625 Kg/hab\*día lo

que generaría una producción de 7 490 446 toneladas entre residuos sólidos Orgánicos e Inorgánicos y 4 175 175 toneladas serían residuos sólidos Orgánicos reaprovechables lo que constituye el 55.74% del total generado en el año 2019 (MINAM 2012).

Fig. 2.

Generación de residuos sólidos en Perú para el 2019.



El compostaje de residuos Orgánicos se está convirtiendo en un elemento clave de la gestión integrada de residuos sólidos. Perú al ser un país en vías de desarrollo de América Latina aún cuenta con pocos centros o plantas de compostaje municipales las cuales no contribuyen significativamente a tratar los volúmenes de residuos cada vez mayores ni tampoco a abastecer la demanda energética nacional y satisfacer las emisiones nacionales de carbono que fueron compromiso en el Acuerdo de París (Silva-Martínez y Sanches-Pereira 2018). El compostaje tiene una serie de ventajas, que incluyen beneficios económicos, mejoras de las propiedades del suelo mediante el uso del compost, reducción del uso de fertilizantes químicos y minimización de la contaminación ambiental (Ballardo et al. 2020). Sin embargo, otros estudios también muestran que los impactos ambientales negativos en la producción del compost son mayores que en otros sistemas de gestión de residuos como la incineración (Jensen, Møller y Scheutz 2016) También se demuestra que los sistemas basados en la digestión anaeróbica superan significativamente el rendimiento del compostaje, especialmente en la categoría de calentamiento global (Edwards et al. 2018)

Es por esto que en nuestra investigación se planteó aplicar un ACV a la producción del Compost producido por la Municipalidad del Agustino para responder a las interrogantes de:

¿Cómo es el ciclo de vida del Compost producido por la Municipalidad de El Agustino? ¿Qué impactos ambientales negativos conlleva la producción de compost por la Municipalidad de El Agustino?, ¿Cuáles son las partes en el ciclo de vida del compost que generan la mayor cantidad de impactos ambientales negativos? y ¿Cuál es la magnitud de los impactos ambientales negativos generados por la Municipalidad de El Agustino en la producción del Compost? De esta manera se logró conocer los beneficios y perjuicios que genera la producción de compost en la Municipalidad de El Agustino, tener clara la información de los impactos ambientales negativos producidos en la Municipalidad de El Agustino nos mostró si es beneficiosa la producción de compost o caso contrario genera mayores perjuicios que beneficios, nos pareció importante este estudio porque mediante los datos obtenidos se podrá optimizar el proceso de producción del compost reevaluando y cambiando los subprocesos donde se identifiquen la mayor cantidad de impactos ambientales negativos y de esta forma disminuir la magnitud con la que se impacta al medio ambiente a causa de la producción de compost en la Municipalidad de El Agustino , además de esto gracias a la utilización del software openLCA se obtendrá una base de datos que servirá de guía para futuras investigaciones de Análisis de Ciclo de Vida.

El objetivo general de esta investigación fue analizar el ciclo de vida del compost utilizando el software openLCA y los objetivos específicos: Identificar los impactos ambientales negativos que conlleva su producción, señalar las partes del ciclo de vida donde se generan la mayor cantidad de impactos ambientales negativos y como último objetivo específico cuantificar la magnitud de los impactos ambientales negativos producidos por la producción de compost en la Municipalidad de El Agustino.

## II. MARCO TEORICO

Li et al. (2018) cuantificaron y compararon diferentes estrategias de tratamiento de residuos sólidos orgánicos en la granja, que incluyen digestión anaerobia, compostaje y digestión anaerobia integrada con compostaje. Además Li et al. (2018) usaron la herramienta OpenLCA para realizar el análisis, para este estudio se basaron en la base de datos Ecoinvent 3.2 que proporciona datos sobre el proceso para así tomar decisiones sobre el impacto ambiental de productos, se evaluaron cinco categorías de impacto que son: Potencial de calentamiento global, potencial de acidificación, potencial de eutrofización, potencial de eco toxicidad y agotamiento de recursos; la unidad funcional fue el tratamiento de (1) tonelada de estiércol lácteo. Li et al. (2018) concluyeron que la digestión anaerobia integrada con compostaje mostró los mejores resultados en cuanto a calentamiento global y reducir el uso de recursos, la digestión anaerobia es la opción más favorable en términos de potencial de acidificación, potencial de eutrofización y potencial de eco toxicidad.

Masella et al. (2018) evaluaron la gestión de los residuos en la ciudad de Florencia, Italia durante el año 2015, se recogieron alrededor de 412105 t de residuos, donde 202794 t fueron residuos mixtos y 72540 t fueron orgánicos. Las fracciones se trataron en una planta centralizada de selección-compostaje. Además Masella et al. (2018) usaron el software OpenLCA los datos provienen de la base de datos ELCD core 3 LCI, se calcularon 16 categorías de impacto que son: Acidificación, Cambio climático, Eco toxicidad de agua dulce, Eutrofización de aguas residuales, Toxicidad humana: carcinógenos, Toxicidad humana - no cancerígenos, Ecosistemas de radiación, Radiación radiante - salud humana, Eutrofización marina, Agotamiento del ozono, Partículas / inorgánicos respiratorios, Formación de ozono fotoquímico, Agotamiento de recursos: minerales, fósiles y energías renovables y Agotamiento de recursos -eutrofización terrestre-acuática, la unidad funcional fue un año de tratamiento de residuos orgánicos y mixtos en Florencia. Masella et al. (2018) encontraron que los mayores impactos pertenecen al proceso de transporte de residuos, esto confirma que se puede reducir las cargas ambientales al lograr una mayor eficiencia con vehículos más livianos, motores más eficientes, combustibles mejorados, al mismo tiempo los impactos se reducirán implementando una planta local de tratamiento in situ.

Keng et al. (2020) Realizó una investigación del compostaje a escala comunitaria de alimentos: un estudio de caso respaldado por el análisis de ciclo de vida. Keng et al. (2020) realizó el proyecto de compostaje en la Universidad de Nottingham, Malasia, la metodología que se usa es la de caracterización de la materia prima seguido por la metodología de los estudios de factibilidad realizados que incluyen el análisis de proceso de jerarquía (AHP) y la evaluación del ciclo de vida (ACV) usando como unidad funcional el tratamiento de  $200 \frac{kg}{dia}$  de desechos orgánicos. Como resultado concluyo que para un compostaje exitoso el agente de carga que es un material a base de carbono para agregar densidad o volumen a la pila de compost debe ser mezclado con los desperdicios de alimentos en las relaciones correctas, el método de compostaje para el desperdicio de alimentos es técnicamente factible y socialmente deseable. Asimismo Keng et al. (2020) afirma que es necesario un esfuerzo colaborativo y a largo plazo para el sistema de gestión de residuos de circuito cerrado.

Behrooznia et al. (2018) investigó la sostenibilidad del vertedero y compostaje – vertedero municipal y la gestión de residuos sólidos en el norte de Irán de esta manera comparar el uso de la energía y perfiles ambientales de los dos sistemas de gestión de residuos. Behrooznia et al. (2018) utilizó un enfoque metodológico que sigue cuatro pasos en los cuales se incluye definición del objetivo y el alcance, análisis de recopilación de datos o inventario, evaluación de los indicadores e interpretación de resultados, la unidad funcional se definió como 100 toneladas de residuos sólidos urbanos. Asimismo Behrooznia et al. (2018) encontró que el requerimiento de energía del escenario compostaje- vertedero (CL) fue 29% mayor que el del escenario vertedero (L) para el tratamiento de la misma cantidad de residuos sólidos urbanos (RSU). Transporte, combustible Diésel y maquinarias fueron los principales contribuyentes al consumo total de energía en ambos escenarios.

Jensen, Møller y Scheutz (2016) evaluaron la gestión de los residuos domésticos orgánicos en la frontera entre Dinamarca y Alemania donde se señala grandes diferencias entre sus sistemas pues la región Danesa solo usa incineración para el tratamiento de residuos orgánicos domésticos, mientras la región alemana incluye producción de biogás y compostaje. Jensen, Møller y Scheutz (2016) describieron los sistemas de gestión de residuos orgánicos que usa cada región siendo la principal diferencia que en la región alemana existe

una separación en la fuente y en la región danesa no, la unidad funcional fue el tratamiento de 1 tonelada de desechos orgánicos domésticos que fueron obtenidos principalmente de siete municipios situados cerca de la frontera. De esta manera Jensen, Møller y Scheutz (2016) encontraron que en el balance global el sistema danés es más eficiente que el sistema alemán en 10 de las 14 categorías de impacto evaluadas las cuales son: Calentamiento global, formación de Ozono fotoquímico, acidificación, eutrofización terrestre, eutrofización acuática, eutrofización marina, partículas en suspensión, agotamiento de elementos, agotamiento de recursos fósiles y toxicidad humana cancerosa. Todo esto debido a que el sistema alemán pues no sustituía productos como diésel o electricidad lo que ocasionaba emisiones directas de óxido nitroso. Por otro lado, la planta combinada de compostaje y biogás de la región alemana tuvo el desempeño ambiental más complejo con grandes sustituciones de electricidad y fertilizantes, pero también grandes emisiones de metano, óxido nitroso y amoníaco.

Khandelwal et al. (2019) evaluaron el sistema de gestión de los residuos sólidos municipales en la ciudad de Nagdur, India bajo cuatro escenarios diferentes, compostaje combinado con relleno sanitario, instalación de recuperación de material y compostaje combinado con relleno sanitario, digestión anaerobia combinada con relleno sanitario y compostaje combinado con vertedero, se utilizó la herramienta ACV. Khandelwal et al. (2019) utilizaron un alcance de *“la puerta a la tumba”*, que incluye el transporte de residuos a instalaciones de tratamiento y posterior disposición final de los residuos, la unidad funcional elegida para comparar los escenarios alternativos fue de una tonelada métrica de RSU de Nagdur, India. Khandelwal et al. (2019) encontraron que la combinación del reciclaje con compostaje de la fracción biodegradable y el vertido de residuos es la opción más adecuada, el análisis de sensibilidad también indico que se reducen los impactos ambientales considerablemente al aumentar el reciclaje. Como recomendaciones Khandelwal et al. (2019) afirman que para descubrir una imagen completa del sistema de gestión de residuos sólidos se debe estudiar de manera social, económica y los factores psicológicos.

Mancini, Arzoumanidis y Raggi (2019) evaluaron el impacto ambiental de dos tipos de fracción orgánica que usan técnicas de tratamiento de residuos sólidos con compostaje y digestión anaerobia con post-compostaje. Mancini, Arzoumanidis y Raggi (2019) realizaron

el análisis en una instalación de residuos sólidos municipales, sistema de selección y compostaje que se encuentra en la provincia de L'Aquila. Italia, se evaluó usando la metodología de análisis de ciclo de vida y la unidad funcional fue el tratamiento de 1000 toneladas de residuos orgánicos. Asimismo Mancini, Arzoumanidis y Raggi (2019) encontraron que la digestión anaeróbica con compostaje puede tener un mejor rendimiento ambiental en comparación con únicamente el compostaje, surgieron algunos problemas críticos, principalmente relacionados con la fase de transporte y vertedero de la fracción de chatarra que tienen un importante papel en las categorías de impacto más afectadas. Finalmente Mancini, Arzoumanidis y Raggi (2019) dan como recomendación que para desarrollo de futuros se debe incluir una integración de los resultados con la economía, problemas sociales que se consideran importante para analizar los tres pilares de la sostenibilidad.

Neri et al. (2018) evaluó como los impactos ambientales del compostaje de la planta Compost Romagna ha cambiado como consecuencia de su expansión y adaptación, que paso de utilizar un modelo de compostaje tradicional hasta un sistema anaerobio integrado, el análisis se realizó utilizando datos proporcionados por la empresa. Neri et al. (2018) utilizó el análisis de ciclo de vida como método además de usar el software SimaPRO y el método de análisis ReCiPe, la unidad funcional utilizada fue de una tonelada de desechos que ingresaban a la planta, las entradas y salidas del sistema se refieren al uso de combustibles, lubricantes, transportes, tratamiento y eliminación de desechos sólidos y líquido, así como también emisiones de diversa naturaleza. Asimismo Neri et al. (2018) muestra que hubo una disminución significativa a lo largo de los años, a través de la implementación de un reactor anaeróbico capaz de producir energía renovable a partir de biogás, este procedimiento permite evitar los impactos por fuentes de energía convencionales, lo que originó una sustancial disminución en el impacto de las categorías de agotamiento de combustibles fósiles y cambio climático, cargas ambientales asociadas al transporte de residuos biológicos que afectan al consumo de recursos no renovables así como la emisión de partículas son remarcadas en el estudio, sin embargo, se equilibra con los beneficios potenciales logrados con la eliminación evitada de tales desechos en vertederos. Finalmente Neri et al. (2018) recomienda que se usen estos resultados para cuantificar los beneficios generales derivados

a escala nacional, teniendo en cuenta condiciones territoriales pues son extremadamente diferentes.

Oldfield, White y Holden (2018) analizó a las implicaciones de la transición de una economía lineal donde los residuos no tienen valor y ni son gestionados a una economía circular de “cuna a cuna” donde los residuos se valorizan como un recurso. Oldfield, White y Holden (2018) realizó el estudio desde dos perspectivas de las partes interesadas (i) eliminación de residuos y (ii) valorización de residuos por recuperación de nutrientes. Se consideró el compostaje de dos desechos domésticos: comida desperdiciada y desechos verdes y se usó la unidad funcional de un kilogramo de residuos y además cada desperdicio fue caracterizado en términos de contenido de nutrientes, contenido de carbono y densidad utilizando fuentes de literatura. Oldfield, White y Holden (2018) concluyeron que la unidad funcional y el límite del sistema dependen de los interesados y conduce a diferentes interpretaciones además el enfoque común de utilizar el supuesto de carga cero y una unidad funcional definida en términos de masa de material procesos puede ser engañoso para la valorización de residuos.

Oliveira et al. (2017) examinaron las alternativas de compostaje de los desechos orgánicos generados en la ciudad de Bauru, en el estado São Paulo, analizando la situación actual en la que todos los residuos orgánicos se dispone en el vertedero. Oliveira et al. (2017) utilizaron tres pasos metodológicos, el primero que consistió en la revisión de la literatura sobre compostaje en la base de datos Scopus, Science Direct y Web of Science, el segundo paso fue desarrollar la gestión de la eliminación de residuos orgánicos y se obtuvo información del porcentaje de desechos orgánicos, fracción de residuos recolectados por kilometraje y los costos operativos, todo esto obtenido gracias a la empresa responsable de la recogida de residuos y finalmente el tercer paso consistió en la elaboración del inventario de ciclo de vida utilizando el software IWM-2 el propósito del software es predecir las cargas ambientales de un sistema específico de gestión de residuos con la mayor precisión posible y considerando todas las posibles unidades funcionales, como entradas de desechos , recolección y clasificación de desechos, tratamiento biológico, térmico, relleno sanitario y generación de energía. Asimismo Oliveira et al. (2017) concluyeron que la clasificación de los desechos orgánicos y el transporte con un mayor vehículo cuya capacidad de carga pueda minimizar la distancia total del viaje y sus impactos hacen factible la opción de enviar los residuos de

Bauru a otro municipio con planta de compostaje pues minimizan los impactos económicos y ambientales.

Pace et al. (2018) evalúa el impacto de la digestión anaeróbica, seguido del compostaje de los residuos de alimentos y mezclas de residuos verdes en la producción neta de energía, el potencial de calentamiento global y el escaso uso del agua. Pace et al. (2018) utilizaron el análisis de ciclo de vida para evaluar los impactos ambientales del tratamiento de 1 tonelada métrica de residuos orgánicos a lo largo del proceso haciendo un seguimiento a las entradas y salidas de energía, consumo de materia prima, emisiones y otros desechos en cada etapa del ciclo. Pace et al. (2018) encontraron que el aumento del tiempo para digestión anaeróbica disminuyó el uso de agua y de recursos no renovables, así como una mayor producción de energía neta a partir de la generación de biogás, además la composición de los desechos influyó mucho en el uso de agua, recursos no renovables y renovables. Pace et al. (2018) sugieren para futuras investigaciones estudiar opciones para diferentes tipos de compostaje combinado con digestión anaeróbica.

Pergola et al. (2018) evaluaron la sostenibilidad de la producción de una tonelada de compost de productos lácteos y estiércol de ganado de dos instalaciones agrícolas que operan en el sur de Italia y utilizan diferentes agentes de carga. Pergola et al. (2018) realizaron el análisis usando la evaluación del ciclo de vida, el análisis de energía y el costo del ciclo de vida, utilizaron para calcular los impactos la energía involucrada, el costo de producción de una tonelada de compost que es la unidad funcional y comparar los diferentes tipos de escenarios para el compostaje. De esta forma Pergola et al. (2018) demostraron que la producción de una tonelada de compost en la granja a partir de estiércol tendría bajos impactos y necesita menos de 300 MJ de energía ya sea que se utilizara residuos de poda o paja de maíz como agentes de carga, además los costos de producción son bajos. La producción del compost puede ser una solución al problema del excedente que ofrece el ganado por lo tanto dichos hallazgos pueden usarse como punto de partida para promover estos procesos de compostaje de baja tecnología.

El análisis de ciclo de vida se usa principalmente para estudiar sistemas de productos, también se puede usar para estudiar objetos fabricados por el hombre más complejos como empresas, energía, transporte, sistemas de gestión de residuos, infraestructuras y ciudades,

siempre con una perspectiva de ciclo de vida.(Hauschild, Rosenbaum y Olsen 2017) Normalmente el análisis de ciclo de vida estudia etapas “de la cuna a la tumba”, es decir; estudia el proceso desde el acondicionamiento de las materias primas hasta la gestión última de los residuos, aunque también existen variantes de las etapas que incluyen cuna a puerta y cuna a cuna. La organización internacional de normalización (ISO) tiene una serie dedicada a estándares para ACV, el análisis de ciclo de vida normalmente tiene cuatro pasos a seguir los cuales son: Definición de objetivos y alcances, inventario de ciclo de vida, impacto del ciclo de vida y evaluación e interpretación del ciclo de vida. (Senthilkannan 2016).

La definición de objetivos y alcances es la primera fase de un ACV y determina el propósito del estudio, consta de seis aspectos que son: (1) Aplicaciones previstas de los resultados (2) Limitaciones debido a elecciones metodológicas (3) Contexto de decisión y razones para llevar a cabo el estudio (4) Público objetivo (5) Estudios comparativos que se divulgaran al público (6) Comisionado del estudio y otros actores influyentes. (Hauschild, Rosenbaum y Olsen 2017).El inventario de ciclo de vida y su análisis es la segunda fase, se realiza la compilación de datos sobre los flujos en todos los procesos del sistema de un producto y se utiliza posteriormente para la fase de evaluación del impacto del ciclo de vida.(Hauschild, Rosenbaum y Olsen 2017) La tercera fase es la evaluación del impacto donde la información del inventario del ciclo de vida se traduce en puntajes de impacto ambiental y la última fase es la interpretación donde los resultados de las otras fases se consideran juntas y se analizan con los datos obtenidos, aplicados y documentados a lo largo del estudio. .(Hauschild, Rosenbaum y Olsen 2017)

Para lograr cuantificar los impactos ambientales es necesario tener una referencia a la cual las entradas y salidas del sistema son relacionadas, a esto se le llama unidad funcional, así se garantiza la comparación de resultados que es especialmente importante cuando se quieren comparar dos sistemas diferentes y sus impactos (ISO 2004).

La evaluación de los impactos depende de la forma en que se analice, se puede realizar una metodología de análisis de efecto ultimo del impacto o “*endpoint*” donde los impactos afectan directamente a la sociedad, un ejemplo de esta categoría seria la salud humana, sin embargo, la metodología para llegar a cuantificar el efecto ultimo no está plenamente elaborado, ni existe suficiente consenso científico necesario para recomendar su uso, es por esto que se

suelen considerar los efectos intermedios o “*midpoint*” (European Commission -- Joint Research Centre -- Institute for Environment and Sustainability 2010) ejemplos de estas categorías de impacto son: Cambio Climático muestra el aumento en la temperatura de la atmosfera terrestre y los océanos (Lenzen et al. 2018), agotamiento de los recursos minerales calcula el uso de materiales extraídos de la naturaleza (Collins 2017), huella hídrica que sirve para cuantificar el consumo de agua ocasionado de forma directa o indirecta (Hoekstra 2017), eutrofización que mide la concentración de nitratos y fosfatos que es imprescindible controlar en la gestión de calidad del agua (Dodds y Smith 2016), acidificación se usa para medir la perdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua como consecuencia de un alto consumo de fertilizantes y detergentes (Haya 2016) , y toxicidad humana categoría de impacto que refiere a los efectos nocivos sobre la salud humana debido a la absorción de sustancias toxicas (Hauschild, Rosenbaum y Olsen 2017).

Las metodologías para la evaluación del impacto ambiental más comúnmente usadas son CML 2001 y Ecoindicador 99 aunque entre estas presentan diferencias significativas, la metodología CML 2001 analiza los puntos intermedios de impacto para la caracterización de 10 categorías las cuales son: (disminución de la capa de ozono, toxicidad humana, eco toxicidad de agua dulce, eco toxicidad agua de mar, eco toxicidad terrestre, oxidación fotoquímica, calentamiento global, acidificación, agotamiento de recursos abióticos y eutrofización. La metodología Ecoindicador 99 de puntos finales posee tres categorías de daño las cuales son: Salud humana, calidad de ecosistema y recursos.(ecoRae 2013).

ReCiPe es una metodología reciente desarrollada para combinar las ventajas de CML2001 y Ecoindicador 99, al combinar ambos métodos se obtiene la solidez científica brindada por CML2001 y la facilidad de interpretación que proporciona Ecoindicador99, enfoca el problema ambiental, así como el daño final, incluye 18 categorías de impacto intermedios: Cambio climático, Disminución de la capa de ozono, Toxicidad humana, Formación de oxidantes fotoquímicos, Formación de materia particulada, Radiación ionizante, Acidificación terrestre, Eutrofización de agua dulce, Eutrofización marina, Ecotoxicidad terrestre, Ecotoxicidad de agua dulce, Ecotoxicidad marina, Ocupación de terreno agrícola, Ocupación de terreno urbano, Transformación de terreno natural, Disminución de cantidad de agua dulce, Disminución de recursos minerales y Disminución de combustibles fósiles.

Además, también incluye 3 categorías de impactos finales: Salud humana, ecosistemas y aumento del coste de recursos (Rattanatum et al. 2018).

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

##### **Tipo de investigación:**

La presente investigación es de tipo aplicada porque la información que se obtuvo al culminarse tiene fines prácticos como los de optimizar el proceso de producción del Compost y así disminuir la contaminación ambiental que genera, según Chávez (2007) la investigación aplicada tiene como objetivo solucionar un problema en un tiempo corto y se aplica de manera inmediata, a diferencia de la investigación básica, la investigación aplicada no está dirigida al desarrollo de la teoría. Además, Hernández y Col (2006) nos dicen que la investigación aplicada surge de la necesidad del investigador a dar solución a problemas o de satisfacer necesidades en un área del conocimiento. Por su parte Risquez y Col (2002) mencionan que la investigación aplicada se caracteriza porque se busca la utilización de los conocimientos que se obtienen. Así también CONCYTEC (2018) nos dice que este tipo de investigación determina los medios para cubrir una necesidad específica a través del conocimiento científico.

##### **Diseño de investigación:**

El diseño de la presente investigación es no experimental porque no manipulamos las variables y transeccional descriptivo porque se centró en la descripción del proceso sin intervención alguna y así saber la realidad del proceso de producción del compost para posteriormente analizar los datos y evaluar los impactos ambientales en las categorías obtenidas esta información servirá para realizar cambios en el proceso de producción de compost para volverlo más eficiente desde un enfoque ambiental. Así también esta investigación utilizó diferentes herramientas para la obtención de datos, lo que nos brindó información de entradas de materia prima y salidas de desechos durante el proceso de producción del compost. Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio (1997) nos dicen que los diseños de investigación transeccionales descriptivos indagan la incidencia y valores de una o más variables y tienen como objetivo medir y proporcionar una descripción. Así también Baena Paz y ProQuest. (2017), nos dice que las investigaciones descriptivas buscan especificar cómo son y cómo se comportan diferentes grupos de personas, comunidades, sistemas o cualquier otro fenómeno y especificar sus propiedades más importantes.

### 3.2. Variables y operacionalización.

Tabla 1.

Operacionalización de variables.

VARIABLE	MARCO CONCEPTUAL	OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
<b>INDEPENDIENTE</b> ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA	Según ISO (2006) análisis de ciclo de vida es un método para compilar y evaluar cuantitativamente las entradas y salidas de un sistema de producción y a lo largo del ciclo de vida de un producto.	Para analizar el ciclo de vida del compost se describirá el proceso de producción del compost en la Municipalidad de El Agustino en las etapas "De la cuna a la tumba" teniendo como enfoque el inventario de ciclo de vida, los límites del sistema de producción y los impactos del ciclo de vida del compost, para posteriormente analizarlos mediante indicadores cuantificables usando categorías de impacto ambiental y finalmente interpretar los resultados para resolver el problema de la investigación.	Entradas	Energía	Mj
				Materias Primas	t
			Salidas	Efluentes Líquidos	m <sup>3</sup>
				Emisiones Atmosféricas	m <sup>3</sup>
				Residuos Sólidos	Kg
				Producto Útil	Kg
Energía	Mj				
<b>DEPENDIENTE</b> IMPACTOS AMBIENTALES NEGATIVOS	Según ISO (2015) los impactos ambientales negativos se refieren a cualquier cambio en el ambiente que sean perjudiciales para éste sin tener en cuenta la magnitud de los daños, provocados por la producción de bienes o servicios, cuantificables y medibles mediante sus categorías de impacto.	Los impactos ambientales negativos se obtendrán del análisis de datos obtenidos en el ciclo de vida del Compost, estos impactos ambientales responderán a los flujos de entrada y salida del proceso de producción, las categorías de impacto se relacionan a las magnitudes de flujo en el sistema, de esta forma se hace una relación entre la producción del compost y los impactos ambientales negativos que genera.	Categorías de Impacto Intermedio	Cambio climático	Kg eq de CO <sub>2</sub>
				Disminución de la capa de ozono	Kg eq de CFC-11
				Toxicidad humana	CTUe
				Formación de oxidantes fotoquímicos	Kg etileno
				Formación de materia particulada	Kg eq de PM 2.5
				Radiación ionizante	Kg eq de U235

			Acidificación terrestre	mol eq de H+	
			Eutrofización de agua dulce	Kg eq de P	
			Eutrofización marina	Kg eq de N	
			Eco toxicidad terrestre	CTUe	
			Eco toxicidad de agua dulce	Kg 124 DCB	
			Eco toxicidad marina	Kg 124 DCB	
			Uso de suelo	M2	
			Disminución de cantidad de agua dulce	m3	
			Disminución de recursos minerales	Kg eq de Sb	
			Disminución de combustibles fósiles	Kg eq de Sb	
			Salud Humana	AVAD	
			Ecosistemas	Especies x Año	
			Categorías de Impacto Final	Aumento del coste de Recursos	US\$

### **3.3 POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO**

#### **3.3.1. Población**

Una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones que puede ser finito o infinito (Selltiz, 1974). En la presente investigación la población está determinada por los datos del proceso de producción del compost que obtendremos de la Municipalidad de El Agustino. Para incluir información en nuestra población, utilizamos aspectos enfocados en los flujos de entradas y salidas dentro del sistema de producción del compost, también tuvimos en cuenta datos dimensionales de tiempo. Como la afirma Luis (2004) población es el conjunto de personas, objetos de los que se desea conocer algo, la población también puede estar constituida por información sobre una realidad.

#### **3.3.2. Muestra**

Son un conjunto de elementos seleccionados de una población de acuerdo al muestreo, la muestra es la parte de la población que se estudia y analiza (Salazar 2018). En la presente investigación se analizaron los datos obtenidos que corresponden al año 2020.

#### **3.3.3. Muestreo**

Una muestra puede ser de dos tipos: probabilística y no probabilística, el muestreo probabilístico nos muestra la probabilidad que tiene cada individuo de ser considerada en la muestra, normalmente en una selección al azar (Otzen y Manterola 2017). Por otro lado en el muestreo no probabilístico se depende en gran medida del criterio o juicio del investigador, la muestra se selecciona mediante procedimientos no aleatorios (Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio 1997). Para esta investigación se hizo uso del muestreo no probabilístico y de conveniencia o intencional en la que elegimos que parte de la población pasa a formar la muestra.

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.**

Se entiende por técnica el proceso de recolección de datos, y por instrumento al medio por el cual se registraron dicha información relacionada a las variables de nuestra investigación a fin de poder estudiar y analizar los datos que se obtendrán.

### **3.4.1. Técnicas**

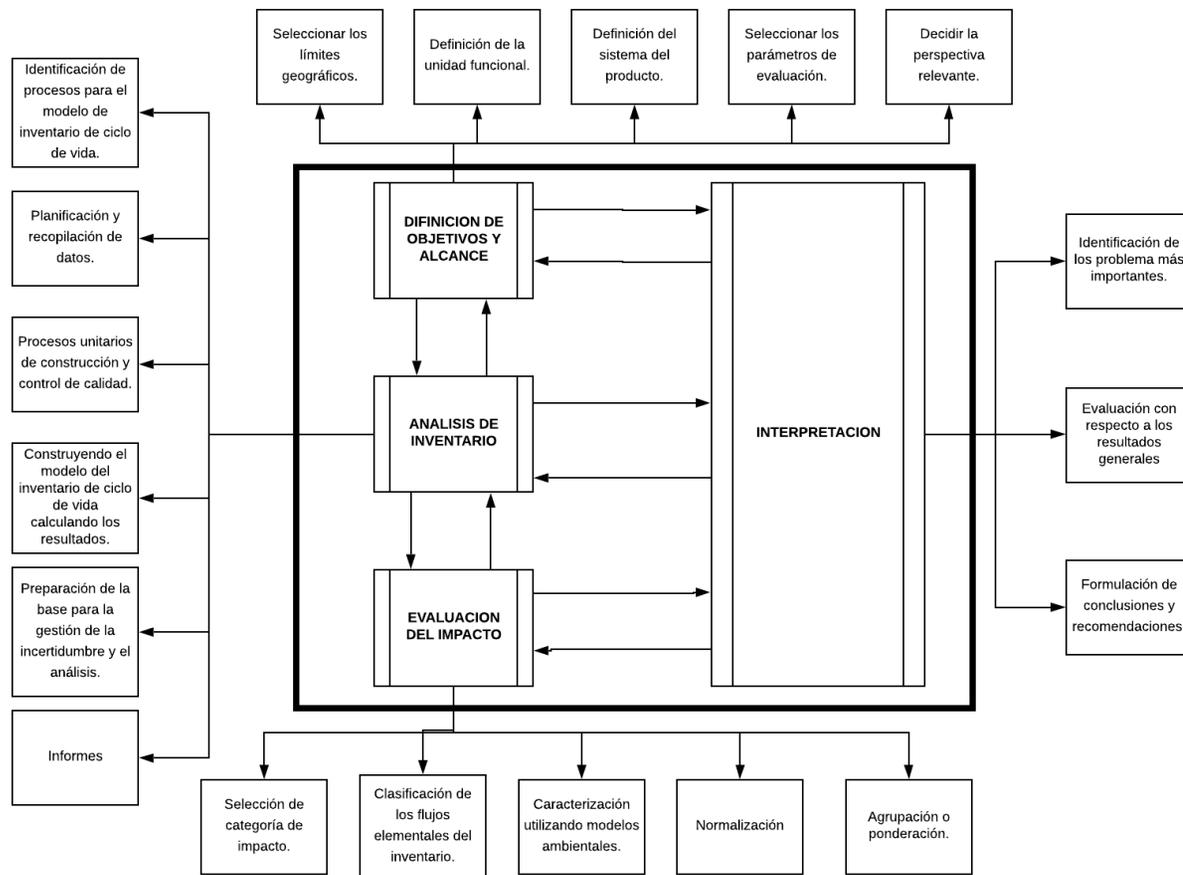
- Observación: Permite recolectar información sobre el objeto de estudio, a través de las visitas in situ que se realizaron a la Municipalidad del Agustino.
- Entrevista: De esta manera se obtienen datos reales del área de estudio para determinar en qué situación se encuentran las operaciones.
- Análisis documental: Se utilizó la documentación de la fábrica municipal de Lima Norte concerniente a la producción de compost.

### **3.4.2. Instrumentos**

- Ficha de observación: Se utiliza guías de observación para recoger información sobre la situación de las operaciones de producción.
- Ficha de análisis documental: Se utiliza esta guía porque se usa un modelo basado en normas y teorías sobre Análisis de Ciclo de Vida y establecer los diagramas de flujo en el proceso, así mismo la guía de análisis documental recopila toda la información registrada en la Municipalidad de El Agustino para la producción del compost.
- Ficha de entrevista: La entrevista es realizada a los trabajadores de la fábrica de compost de la Municipalidad de El Agustino, con el fin de conocer cómo se realiza su trabajo a diario, durante todo el proceso de producción para describir sus operaciones, en los cuales se solicitó la mayor objetividad y veracidad.

### 3.5. Procedimiento

Fig. 3. Esquema de procedimiento de ACV



### 3.5.1. Descripción de la fabricación de compost en la Municipalidad de El Agustino

La Municipalidad de El Agustino está implementando múltiples políticas y proyectos para asegurar el desarrollo sostenible y la protección del medio ambiente como la Implementación del Centro de Valorización de Residuos, mismo que está siendo supervisado por el MEF y MINAM, la meta de producción de compost para finales del año 2020 es de 70.47 t como se indica en el Programa de Incentivos a la Mejora de la Gestión Municipal del año 2020, la Municipalidad de El Agustino a implementando un sistema para la producción del Compost, mismo que se evaluó en la presente tesis.

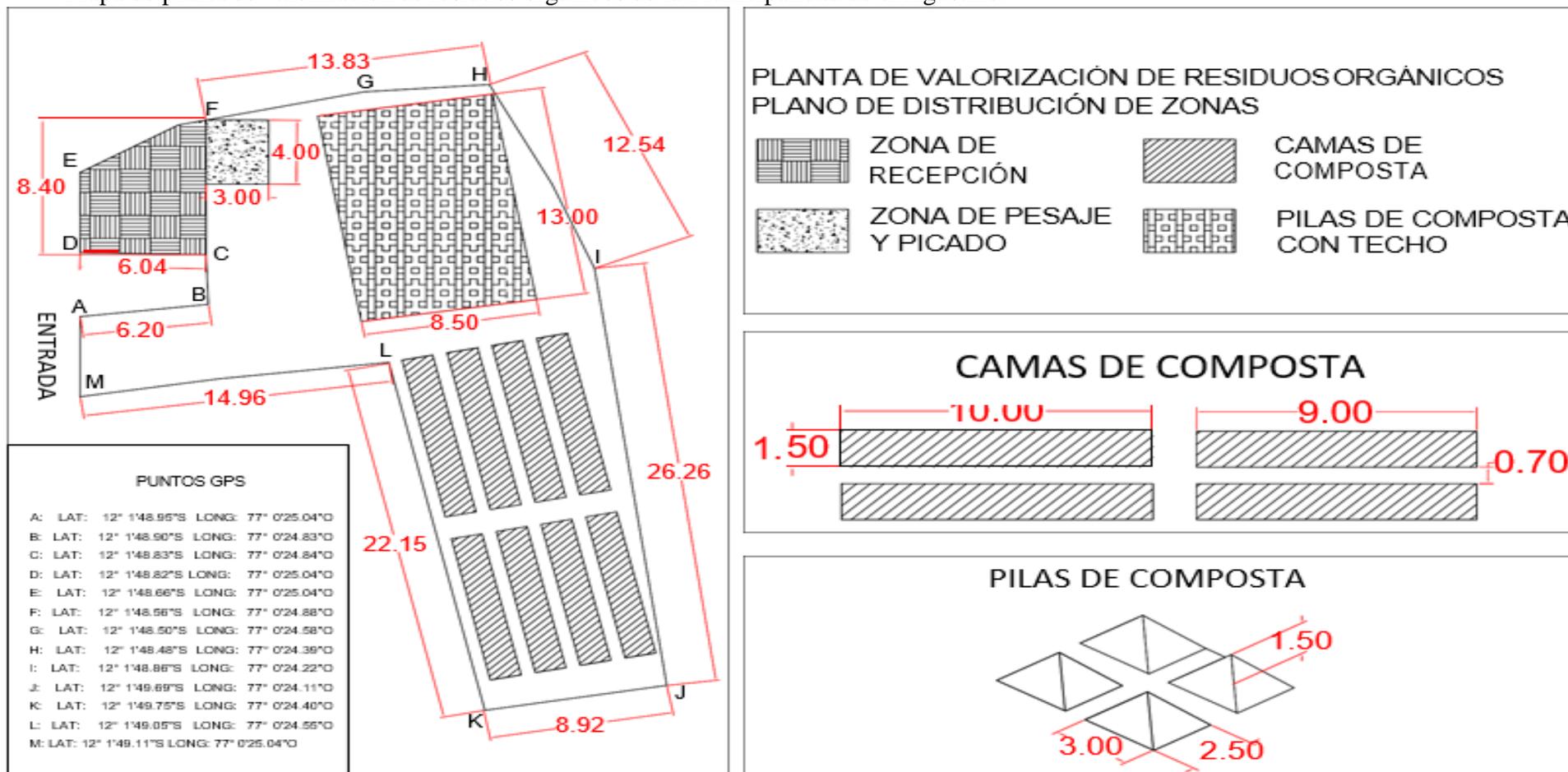
### 3.5.2. Definición de alcance y objetivos

El objetivo del presente ACV es de naturaleza puramente descriptivo, analizar el ciclo de vida del compost utilizando el software openLCA, de esta forma conocer cuáles son los impactos ambientales del sistema de producción, identificar los procesos unitarios que generan los mayores impactos ambientales y cuantificar estos impactos, el alcance del estudio involucró todos los procesos necesarios para la producción del compost en la Municipalidad de El Agustino, como transporte de materia prima, proceso de elaboración y los residuos generados, el compost producido se utiliza en las áreas verdes del distrito y también se dona a la población que lo requiere como fertilizante orgánico, se elaboró el análisis de ciclo de vida desde un punto de vista de la cuna a la tumba.

Para analizar el ciclo de vida de la producción del compost se limitó geográficamente el lugar donde se produce el compost, se ubica en la zona A.H. Agrupación Familiar Los Jardines, la altura de Av. Malecón de la Amistad con la Av. 07 de junio, cuenta con 21,258.28 m<sup>2</sup> y un perímetro de 1.2 km.

Fig. 4.

Mapa de planta de valorización de residuos orgánicos de la Municipalidad de el Agustino.

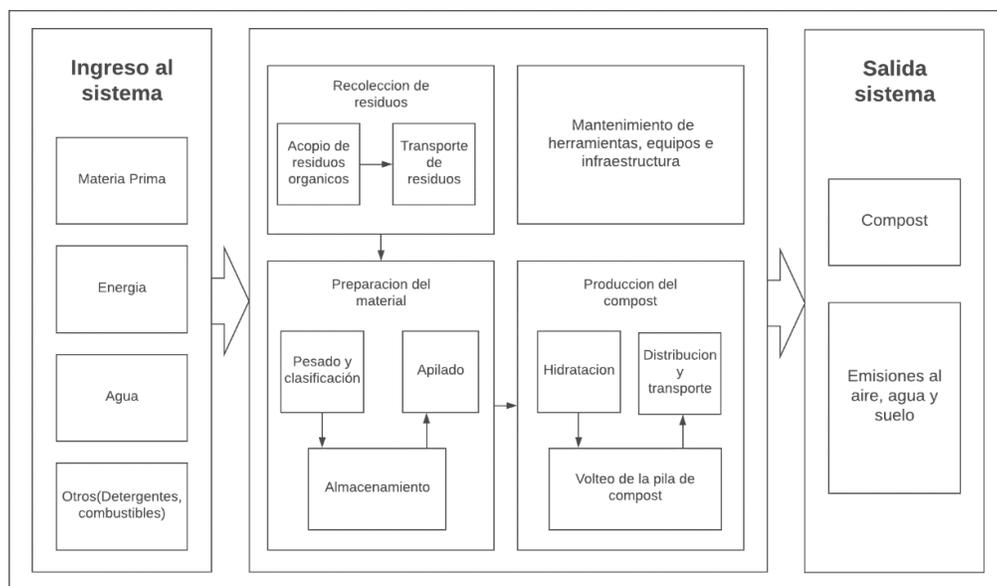


Con el objeto de poder relacionar los flujos del sistema al momento de realizar el análisis de inventario definimos una unidad funcional que nos permite cuantificar las entradas y salidas dentro del proceso de producción del compost, sin embargo, aunque la presente investigación se realiza desde una perspectiva de los impactos ambientales que se generan a partir de la elaboración del producto, en este caso el compost, la unidad funcional que se utilizara será el tratamiento de 1 tonelada (t) de residuos orgánicos, se entiende que el tratamiento de los residuos darán como producto el compost.

El sistema del producto está compuesto por todos los procesos del ciclo de vida del compost y enmarcado dentro del límite del sistema (Fig. 3) el cual considera procesos como: acopio de residuos orgánicos, estiércol de caballo y residuos de jardín además de sus posterior transporte hasta la planta de valorización, el pretratamiento de la materia prima, el proceso de apilado y maduración, finalmente el empaclado y distribución, además también se consideran dentro del sistema procesos de mantenimiento necesarios en la producción. El establecer efectivamente los límites del sistema influencia de manera determinante en los resultados del ACV, es por esto que se definió desde la perspectiva adecuada, en nuestro caso lo que se quería conocer son los impactos ambientales que se atribuyen a la producción del compost en la Municipalidad de El Agustino y cuantificar sus magnitudes.

Figura 5.

Sistema de producción del compost en la planta de valorización de el Agustino



### 3.5.3. Análisis de inventario

Se identifican los procesos para el modelado del ciclo de vida del compost, se describe a continuación:

a. Acopio de residuos orgánicos.

La Municipalidad de El Agustino mediante su campaña de sensibilización y capacitación logró el apoyo de 13 mercados, los cuales segregan y acopian sus residuos orgánicos en bolsas plásticas, mismas que son dispuestas en contenedores facilitados por la propia Municipalidad, la recolección diaria promedio de residuos orgánicos es de 1 tonelada, en la Tabla 1 se muestran los nombres de los mercados, ubicación y cantidad de residuos producidos promedio por mercado.

Tabla 2.

Mercados y aporte de residuos orgánicos.

<b>Mercados</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Recolección promedio de Residuos (Kg)</b>	<b>Residuos Orgánicos Aprovechables (%)</b>	<b>Residuos Orgánicos Re aprovechables (Kg)</b>
<b>Las Malvinas</b>	Los Lirios, Cercado de Lima 15009	105	63	66.15
<b>Villa Hermosa</b>	Jr. Ucayali 184, El Agustino	51	87	44.37
<b>Los Alamos</b>	Sector, Calle 2 15007, Cercado de Lima	66	75	49.5
<b>03 de octubre</b>	Higos, El Agustino 15007	112	45	50.4
<b>San Hilarion</b>	Av. Nicolás Ayllón 535, El Agustino 15018	78	86	67.08
<b>24 de junio</b>	Av. Las Magnolias 89, El traAgustino 15006	54	94	50.76
<b>Victor Salcedo</b>	Av. Riva Agüero 709, El Agustino 15003	59	82	48.38
<b>12 de Julio</b>	Av. Las Magnolias 501, Cercado de Lima 15006	83	71	58.93
<b>Las Magnolias</b>	Av. Las Magnolias 515, Cercado de Lima 15006	95	65	61.75
<b>Ancieta Alta</b>	Jirón las Margaritas 394, El Agustino 15006	47	79	37.13
<b>Santoyo</b>	Jr. Chiquian, El Agustino 15003	37	81	29.97
<b>01 de Julio</b>	Salcedo, El Agustino 15004	76	63	47.88
<b>07 de Noviembre</b>	Av. Riva Agüero 584, Cercado de Lima 15004	137	52	71.24

b. Transporte de materia prima.

Los residuos orgánicos son recolectados por un camión baranda, el cual recorre los puntos de acopio para posteriormente llevarlos a la planta de valorización de residuos orgánicos, la ruta es fija y el consumo de combustible no varía significativamente, además de esto gracias a donaciones hechas por el “Cuartel Barbones” se recolecta estiércol de caballo, así como residuos de jardín de las áreas verdes para usarse como materia prima en la producción del compost, se detalla la distancia que recorren para transportar la materia prima.

Tabla 3.

Recorrido de transporte

Escenarios	Unidades	Distancia	Frecuencia	Peso de la Carga (Kg)
De los mercados a la planta de valorización	Km	26.5	Diaria	1000
Del Cuartel Barbones a la planta de valorización	Km	10.2	Inter diaria	1000
De las áreas verdes a la planta de valorización	Km	18	Inter diaria	1000

c. Pesado y clasificación.

Al culminar la ruta de recolección el camión se dirige a la planta de valorización de residuos orgánicos, a su llegada los residuos son pesados y posteriormente clasificados a mano y se eliminan todos los plásticos y otros contaminantes no degradables, pues al interior de los paquetes también se encuentran otro tipo de residuos inorgánicos como ropa, plásticos, mascarillas. Posterior a la clasificación se vuelven a pesar los residuos orgánicos en promedio la materia prima de compost tiene 40.53% Solidos Totales, 46.06% Solidos Volátiles, 41.26% Carbono total, 2.2% de Nitrógeno Total, 4.38 g kg<sup>-1</sup> de fosforo total y 11.96 g kg<sup>-1</sup> de Potasio total, las características iniciales de residuos orgánicos (RO), estiércol de caballo (EC) y residuos de jardín (RJ) como se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4.

Composiciones de materia prima.

<b>Parámetros</b>	<b>Residuos Orgánicos<sup>a</sup></b>	<b>Estiércol de caballo<sup>b</sup></b>	<b>Residuos de Jardín<sup>c</sup></b>
<b>Sólidos Totales (%)</b>	11.9 - 12.3	13 – 36	78 – 92
<b>Sólidos Volátiles (%)</b>	10.9 - 11.4	11 – 29	84 – 95
<b>Carbono Total (%)</b>	38	35.3 - 50.5	38.9 - 43.6
<b>Nitrógeno Total (%)</b>	2.4 - 4.2	1.8 - 3.3	0.5 - 1.0
<b>Fosforo Total (g kg<sup>-1</sup>)</b>	5.1 - 5.7	2.7 - 8.4	-
<b>Potasio Total (g kg<sup>-1</sup>)</b>	4.9 - 5.0	23.8 - 26.1	-

Fuente: Elaboración propia.

a Hills y Nakano (1984); Li et al. (2016)

b Cao y Harris (2010); Uludag-Demirer et al. (2008); Demirer y Chen (2008); El-Mashad y Zhang (2010); Agyeman y Tao (2014); Wang et al. (2010).

c Xu et al. (2013); Li et al. (2013a, 2013b, 2016b); Zang et al. (2017).

#### d. Almacenamiento.

Los residuos orgánicos posterior a su clasificación y pesado se almacenan durante 1 a 3 días en promedio en un área de aproximadamente de 24 m<sup>2</sup> cercana a la rivera del río, el suelo no cuenta con impermeabilización para evitar la percolación de los lixiviados, además el área no está techada ni protegida, lo que origina que en la zona se encuentre una gran cantidad de insectos, así también la materia prima genera emisiones gaseosas durante el tiempo que se encuentra almacenada como se resume en la Tabla 4, se encuentra aquí hasta su posterior disposición en camas de compostaje.

#### e. Apilado y maduración

Se coloca en pilas la materia prima, residuos orgánicos, estiércol y poda, hasta formar camas de 50 cm de profundidad y 1 metro de altura, estas camas de compostaje poseen una longitud de 7 m y 1.5 m de ancho. Horas hombre y proceso de apilado, que usan aquí

Como parte del procedimiento de maduración, las camas de compostaje se hidratan con una frecuencia diaria, usando mangueras y agua potable durante 3 meses, que es el tiempo de producción promedio del compost. Cantidad de agua promedio usada para el compost, necesito esos recibos de agua. Hacer un cuadro con los m<sup>3</sup> de agua usados mensualmente,

f. Volteo y aireación.

Se realiza el volteo y aireación de las camas de compostaje dos veces al mes, además antes de realizar este proceso con ayuda de una varilla se realiza un agujero en la pila de compost para que los gases generados puedan liberarse. Gases que se emiten normalmente por el compost en un cuadro con fe noma. Principales gases emitidos en el compostaje.

g. Transporte y distribución.

Al culminar el tiempo de producción y obtenido el compost se acopia y almacena hasta que posteriormente se empaca en bolsas, el compost producido es utilizado para las propias áreas verdes del Municipio o donado a la población que requieran de este abono. Igual un cuadro de que contiene el compost después del proceso, además

h. Mantenimiento de herramientas, equipos e infraestructura.

En el proceso de producción del compost se utilizan herramientas las cuales son limpiadas y desinfectadas con detergentes y otros químicos, el personal encargado de la producción del compost también realiza mantenimiento a los equipos e infraestructura de la planta de valorización lo que requiere un constante uso de productos químicos de limpieza. Cuadro con el requerimiento de detergentes y productos químicos, además de alguna manera evaluar el agua, los residuos orgánicos que se generan también se t

La evaluación de los impactos ambientales generados por la producción del compost se realizará en base a estos procesos unitarios, es necesario planificar la forma de recolección de datos para evitar recopilar datos de alta calidad los cuales demanden mucho esfuerzo y que quizá tengan poca relevancia, es por esto que los datos de flujos se obtuvieron gracias a la observación del proceso de producción debidamente documentado en formatos de seguimiento, además el uso de detergentes, tiempo de producción y otros se obtuvo de los trabajadores que realizan el proceso de producción del compost, otras fuentes de información usados para la presente investigación son artículos científicos e investigaciones.

## 3.6 MÉTODO DE ANÁLISIS DE DATOS

### 3.6.1. Método Analítico

Es un método que se basa en la descomposición de sus partes para observar sus causas y efectos. El método se basa en una realidad o un hecho, acontecimiento en particular, también permite conocer más el objeto a estudiar con lo cual se podrá mejorar y comprender su comportamiento (Calduch 2017).

### 3.6.2. ReCiPe

El método de análisis de datos que fue seleccionado para la presente investigación es ReCiPe, creada por RIVM, CML, PRé Consultants, Radboud Universiteit, Nijmegen y CE Delft. La ventaja de este método es su solidez científica por su amplio uso en diferentes investigaciones (Padrón Páez et al., 2017; Sabia et al., 2020; Rana et al., 2020; Galli et al., 2017; Lamnatou et al., 2018; Lamnatou et al., 2019; Linhares et al., 2017; Pushkar, 2019; Recanati et al., 2018; Vinci et al., 2019), enmarcada dentro del ámbito europeo y está considerado como la sucesora de las metodologías anteriores como Ecoinvent 3.6 y CML 2001, integra el enfoque orientado al problema ambiental y el orientado al daño, al usar esta metodología se logra identificar los impactos ambientales negativos producidos en las diferentes operaciones de un proceso.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Inventario de ciclo de vida.

El inventario de ciclo de vida se muestra como resultado pues se evidencia la base metodológica descriptiva que tiene la presente investigación, se utilizó la unidad funcional de 1 t de residuos orgánicos con la cual se relacionan todos los flujos para su posterior cálculos de impacto, según la información obtenida por cada tonelada de residuos orgánicos son necesarios 300 Kg de estiércol de caballo y 250 residuos de jardín los cuales son transportados en camiones barandas por una distancia aproximada diaria de 35.9 km con una carga de 1 t, además los consumos de energía que es donada también se tienen en cuenta en el análisis pues los impactos generados para producirla no se evitan, la cantidad de agua potable usada se calculó mediante los medidores de flujo

dispuestos en la planta de valorización de residuos orgánicos de la Municipalidad de El Agustino, la información se presenta a continuación.

Tabla 5.

Entradas al sistema de producción del compost en la planta de valorización de El Agustino.

<b>APORTES AL SISTEMA</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>PARA EL TRATAMIENTO DE 1 T DE RO</b>
<b>MATERIA PRIMA</b>		
<b>Residuos Orgánicos</b>	Kg	1000
<b>Estiércol de Caballo</b>	Kg	300
<b>Residuos de Jardín</b>	Kg	250
<b>Agua</b>	m <sup>3</sup>	600
<b>Energía</b>	kWh	31.9
<b>TRANSPORTE</b>		
<b>De los mercados a la planta de valorización</b>	Kg * Km	1000 * 26.5
<b>Del Cuartel Barbones a la planta de valorización</b>	Kg * Km	1000 * 3.4
<b>De las áreas verdes a la planta de valorización</b>	Kg * Km	1000 * 6
<b>OTROS</b>		
<b>Detergentes</b>	Kg	26
<b>Empaques (plásticos)</b>	Kg	1.25

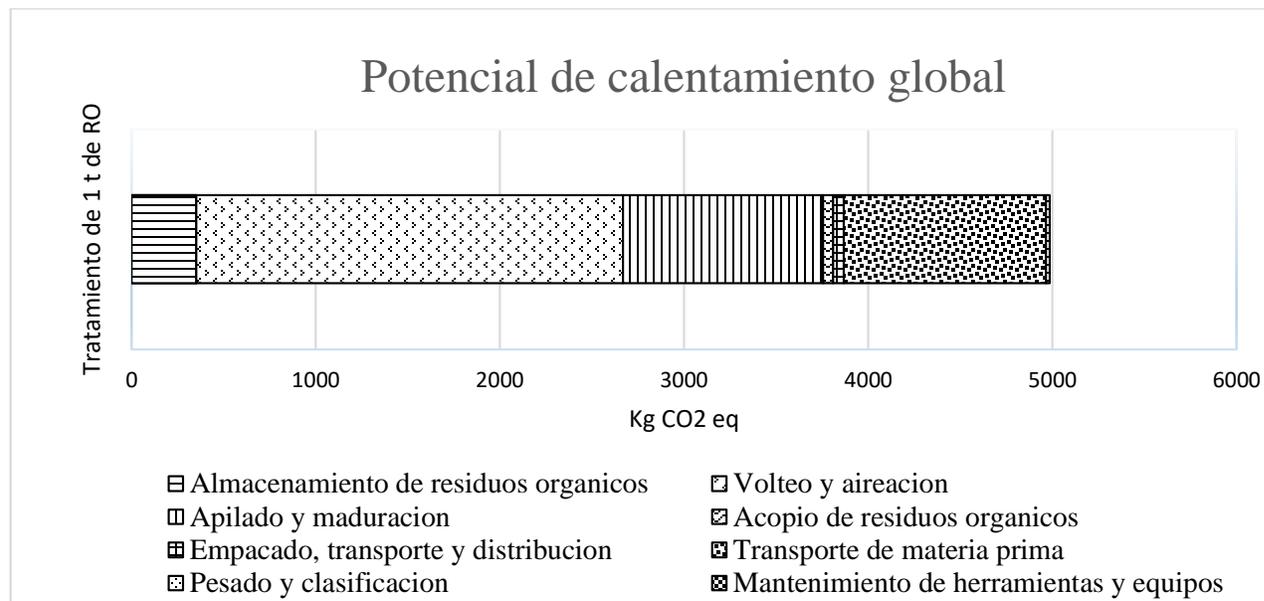
#### 4.2. Resultados de los impactos ambientales.

##### 4.2.1. Potencial de calentamiento global.

El potencial de calentamiento global del sistema de producción del compost no evidenció valores negativos los cuales muestran la nula reducción neta de emisiones que tiene el sistema en esta categoría (Fig. 6). En el presente resultado los valores positivos son las huellas ambientales que el sistema genera en el tratamiento de los residuos sólidos para la producción del compost, se muestra que los principales procesos que contribuyen a esta categoría son: Volteo y aireación con 2316.1 Kg CO<sub>2</sub> eq, apilado y maduración con 1085.59 Kg CO<sub>2</sub> eq, transporte de materia prima con 1098.48 Kg CO<sub>2</sub> eq, finalmente almacenamiento de residuos orgánicos 7.07 Kg CO<sub>2</sub> eq, que contribuyen en la proporción de 46.44%, 21.77%, 22.03 y 7.07% respectivamente, la cantidad total en Kg CO<sub>2</sub> eq fue de 4984.45987 como se muestra en la figura a continuación.

Fig. 6.

Potencial de calentamiento global

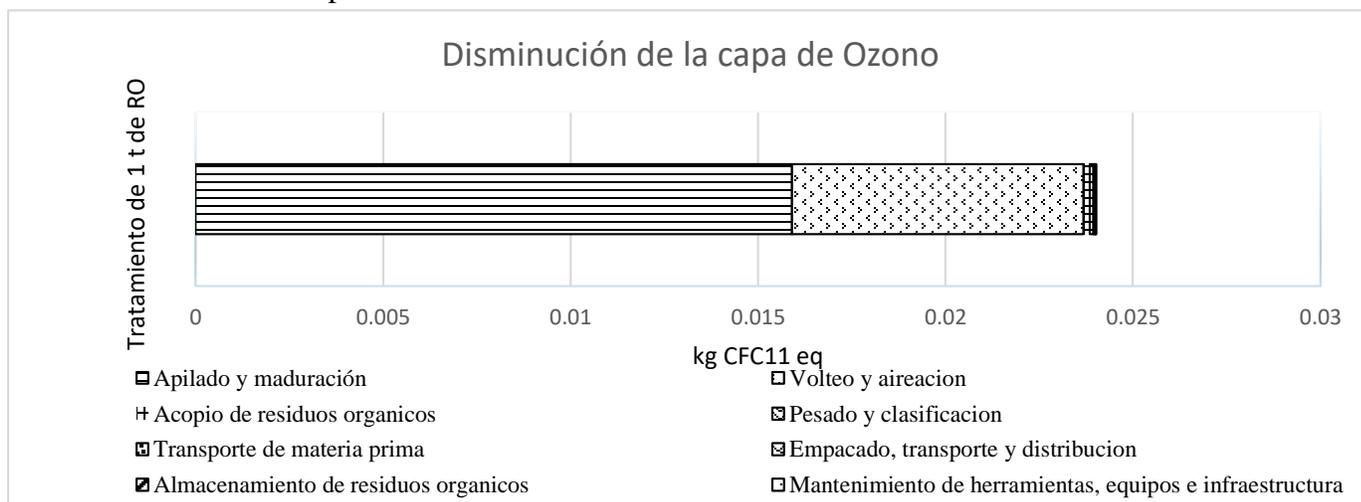


4.2.2. Disminución de la capa de ozono.

La disminución de la capa de ozono se produce comúnmente por agentes como el cloro y bromos libres que llegan a la atmosfera produciendo una reacción fotoquímica con el ozono, el tratamiento de residuos orgánicos para la producción del compost según los resultados obtenidos no impactan de manera significativa para la categoría de disminución de la capa de ozono, siendo los procesos que mas generan impactos los de apilado y maduración con 0.0159 Kg CFC11 eq y volteo y aireación con 0.00778 Kg CFC11 eq, contribuyen en la proporción de 66.22% y 32.43% respectivamente, la cantidad total en Kg CFC11 eq es de 0.0240066 como se muestra en la figura a continuación.

Fig. 7.

Disminución de la capa de ozono.



#### 4.2.3. Toxicidad humana.

La categoría de toxicidad humana usando la metodología ReCiPe divide los resultados en: toxicidad humana cancerígena y no cancerígena, gracias a el software openlca se puede analizar los impactos de manera individual, para la toxicidad humana cancerígena no se encontraron valores menores a cero, por lo que se descarta la reducción de impactos negativos para esta categoría, los procesos que más aportaron fueron los de: Almacenamiento de residuos orgánicos con 22.35 Kg 1,4-DCB, volteo y aireación con 21.18 Kg 1,4-DCB, apilado y maduración con 14.03 Kg 1,4-DCB , finalmente acopio de residuos orgánicos con 9.75 Kg 1,4-DCB, que contribuyen en la proporción de 30.78%, 29.17%, 19.33% y 13.43% respectivamente, de la misma forma la toxicidad humana no cancerígena solo muestra resultados positivos evidenciando así que todos los procesos generan impactos negativos, los procesos que generan los mayores impactos son almacenamiento de residuos orgánicos con 18470 Kg 1,4-DCB y acopio de residuos orgánicos con 2272.52 Kg 1,4-DCB, contribuyendo en una proporción de 83.91% y 10.32% respectivamente, los totales en Kg 1,4-DCB son 72.6 y 22011.6568 para toxicidad humana cancerígena y no cancerígena respectivamente que se muestra a continuación.

Fig. 8.

Toxicidad humana no cancerígena.

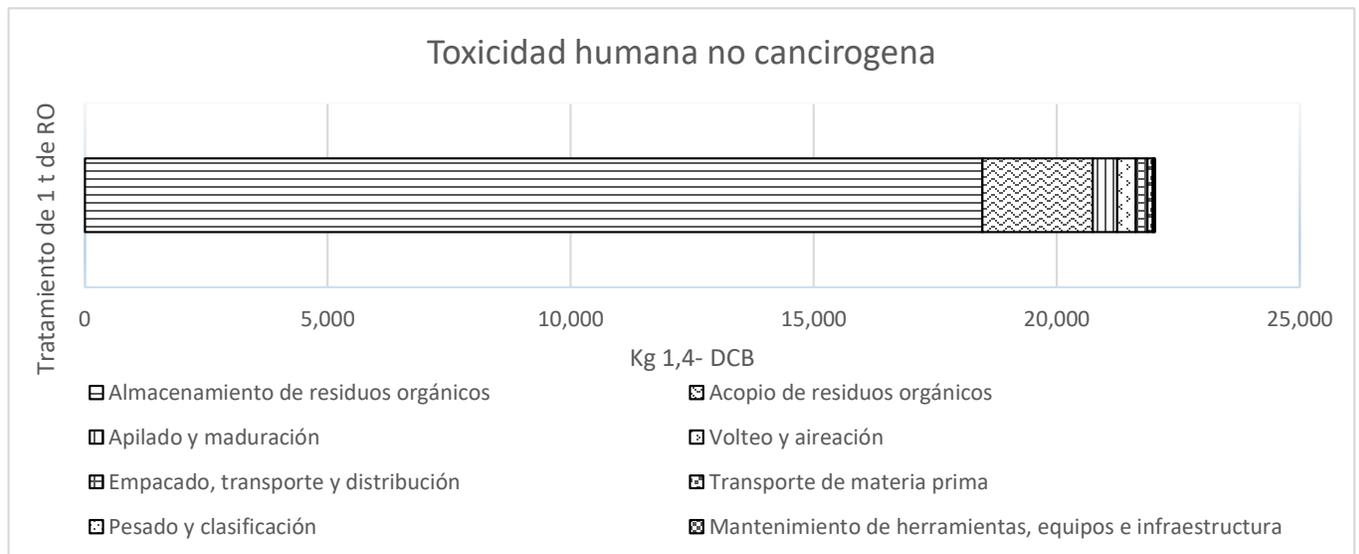
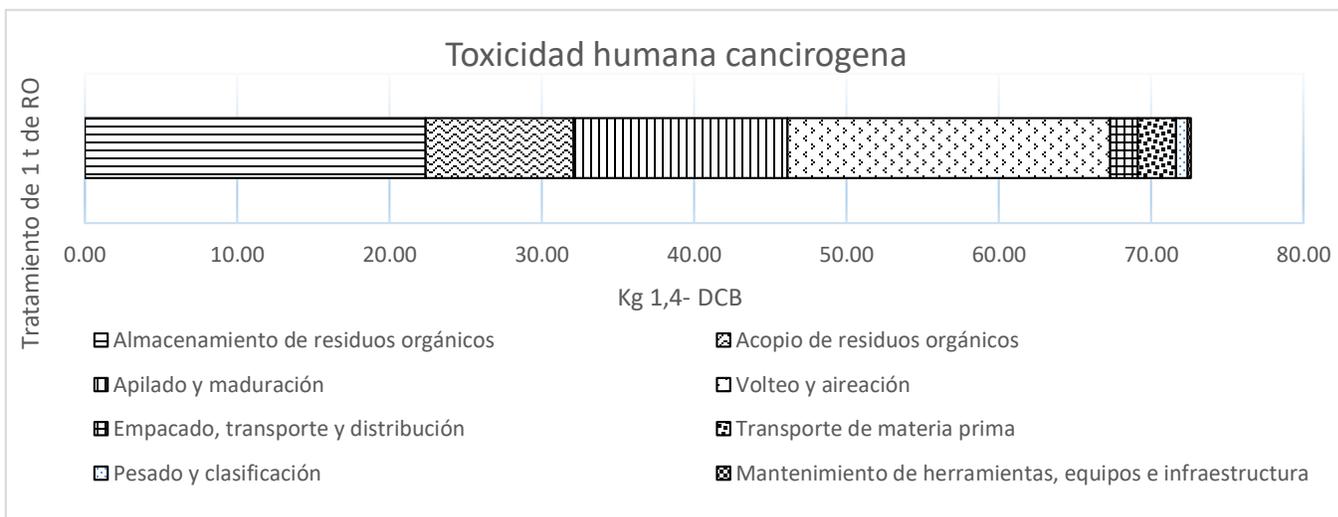


Fig. 9

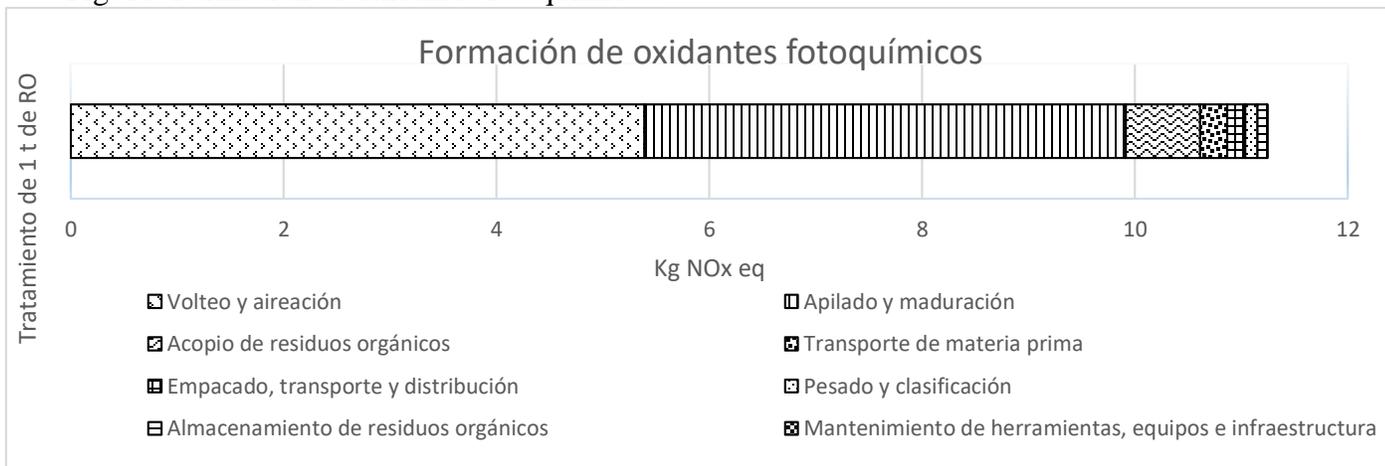
Toxicidad humana cancerígena.



#### 4.2.4. Formación de oxidantes fotoquímicos

La formación de oxidantes fotoquímicos se da comúnmente por acción de los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y por los compuestos orgánicos volátiles (COV) que se liberan en la atmosfera y mediante procesos fotoquímicos logran oxidar sustancias que normalmente no se oxidan por acción del oxígeno, para esta categoría solo se evidencian impactos ambientales negativos siendo los procesos que mas contribuyen los de volteo y aireación con 5.4 Kg  $\text{NO}_x$  eq y apilado y maduración con 4.52 Kg  $\text{NO}_x$  eq, contribuyendo en una proporción de 47.93% y 40.21% respectivamente, el total en Kg  $\text{NO}_x$  eq es 11.25 como se puede observar a continuación.

Fig. 10. Formación de oxidantes fotoquímicos.

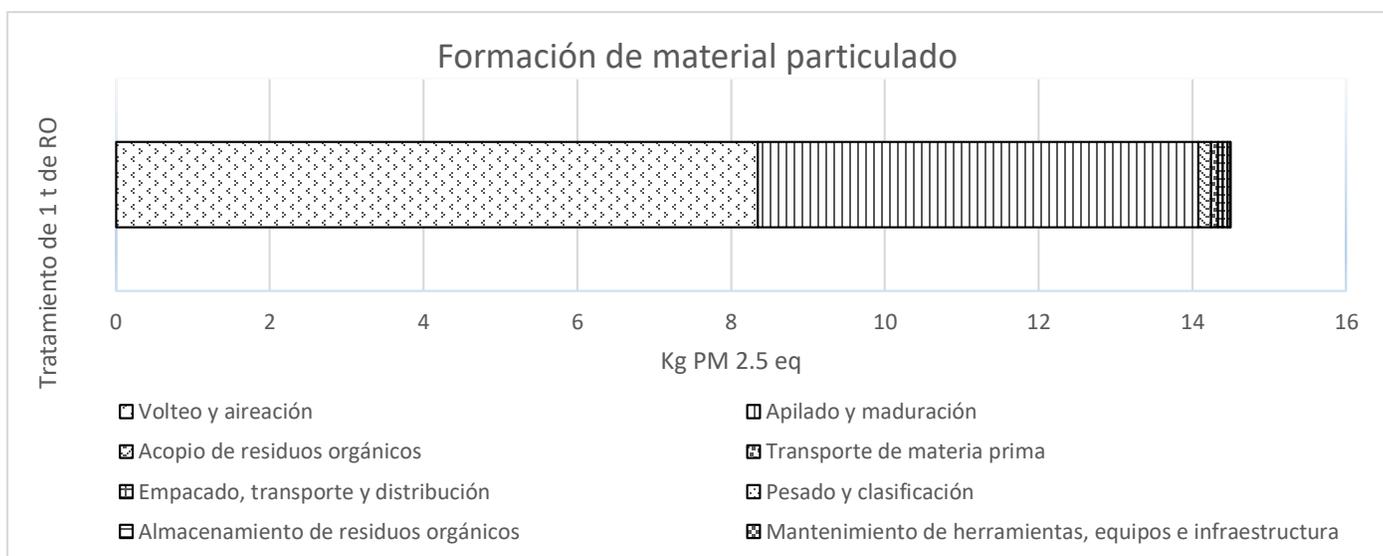


#### 4.2.5. Formación de materia particulada

Esta categoría se refiere a la entrada en la atmosfera de partículas provocando su alteración, el sistema de tratamiento de residuos orgánicos evidencia huellas ambientales para esta categoría de un total de 14.5 Kg PM 2.5 eq, los procesos con una mayor contribución son: volteo y aireación con 8.34 Kg PM 2.5 eq, además de apilado y maduración con 5.73 Kg PM 2.5 eq, contribuyendo al total en 57.6% y 39.46% respectivamente como se puede observar a continuación.

Fig. 11.

Formación de material particulado.

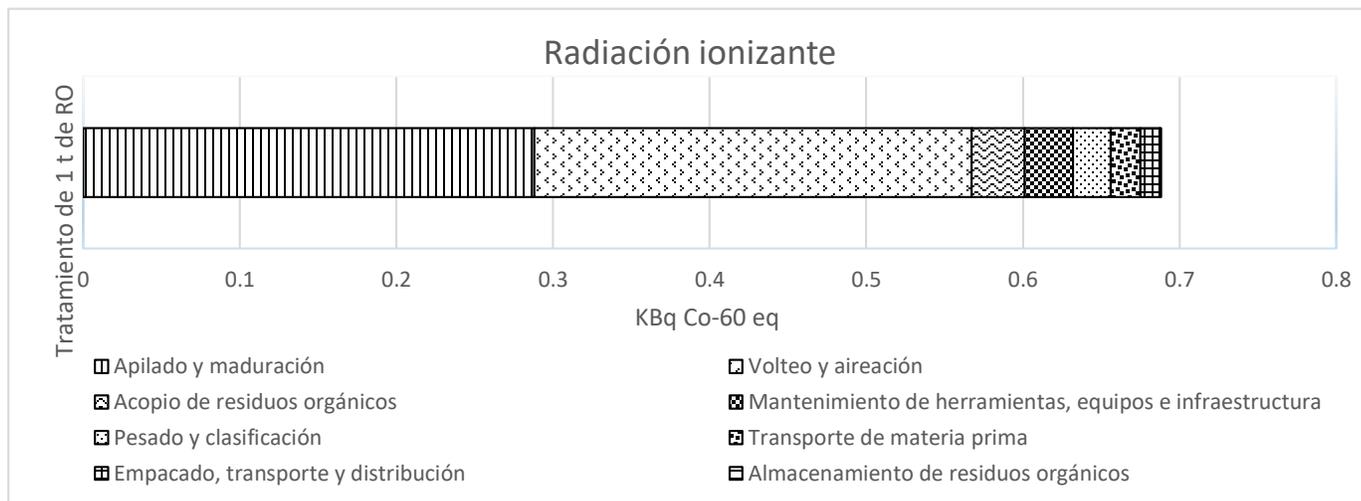


#### 4.2.6. Radiación ionizante

La radiación ionizante liberada comúnmente por átomos en forma de ondas o partículas electromagnéticas y a las que las personas se encuentran comúnmente expuestas por emisores como el suelo, agua o vegetación, en el sistema de tratamiento de residuos orgánicos para su transformación en compost no se evidenciaron grandes impactos en esta categoría con un total de 0.68819 kBq Co-60 eq, esto debido a que la materia prima usada no suele tener contacto con material radioactivo, los procesos principales que contribuyen a esta categoría son: apilado y maduración con 0.28802745 kBq Co-60 eq además de volteo y aireación con 0.27939 kBq Co-60 eq, contribuyendo en una proporción de 41.85% y 40.6% respectivamente al total como se ilustra ahora.

Fig.12.

Radiación Ionizante

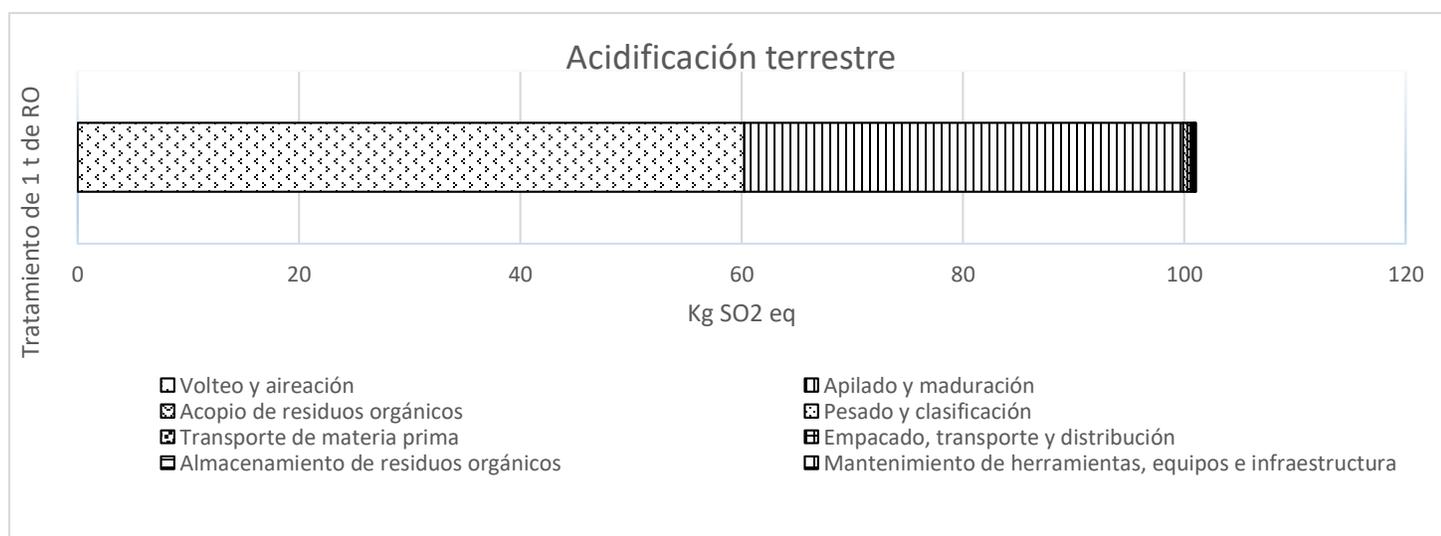


4.2.7. Acidificación terrestre

La acidificación terrestre esta comúnmente relacionada con la emisión de nitrógeno (N) y azufre (S), para el sistema de tratamiento de residuos orgánicos en la planta de valorización de El Agustino los procesos que contribuyeron dominantemente a esta categoría son los de volteo y aireación con 60.24 Kg SO<sub>2</sub> eq además de apilado y maduración con 39.68 Kg SO<sub>2</sub> eq, estos dos procesos pertenecientes al compostaje de los residuos orgánicos contribuyeron en proporciones de 59.64% y 39.29% respectivamente, el total de acidifican terrestre en Kg SO<sub>2</sub> eq fue de 101 mostrado a en la siguiente figura.

Fig.13.

Acidificación terrestre.

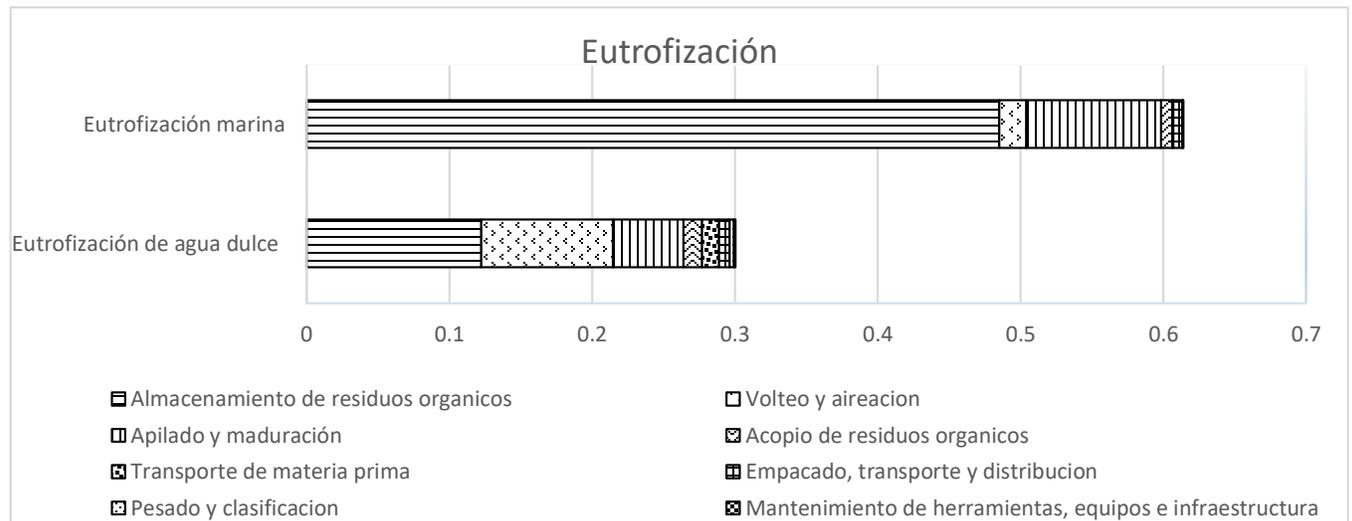


#### 4.2. 8. Eutrofización de agua dulce y marina.

La categoría de eutrofización cubre impactos potenciales de elementos como el nitrógeno (N) y el fósforo (P) que en ecosistemas pueden resultar adversos ocasionando fluctuaciones en la composición de especies y la producción de biomasa. Según los resultados obtenidos para las categorías de eutrofización de agua dulce y eutrofización marina presentan las mayores contribuciones en los procesos los cuales los residuos tienen contacto con el suelo como son: Almacenamiento de residuos orgánicos con 0.1222 Kg P eq y 0.4849 Kg N eq, apilado y maduración con 0.0495319 Kg P eq y 0.0942 Kg N eq, finalmente volteo y aireación con 0.09219 Kg P eq y 0.01924 Kg N eq para eutrofización de agua dulce y eutrofización marina respectivamente., a continuación se observan los totales de eutrofización de agua dulce y marina, para su mejor comparación se presenta en una figura.

Fig.14.

Eutrofización de agua dulce y marina.



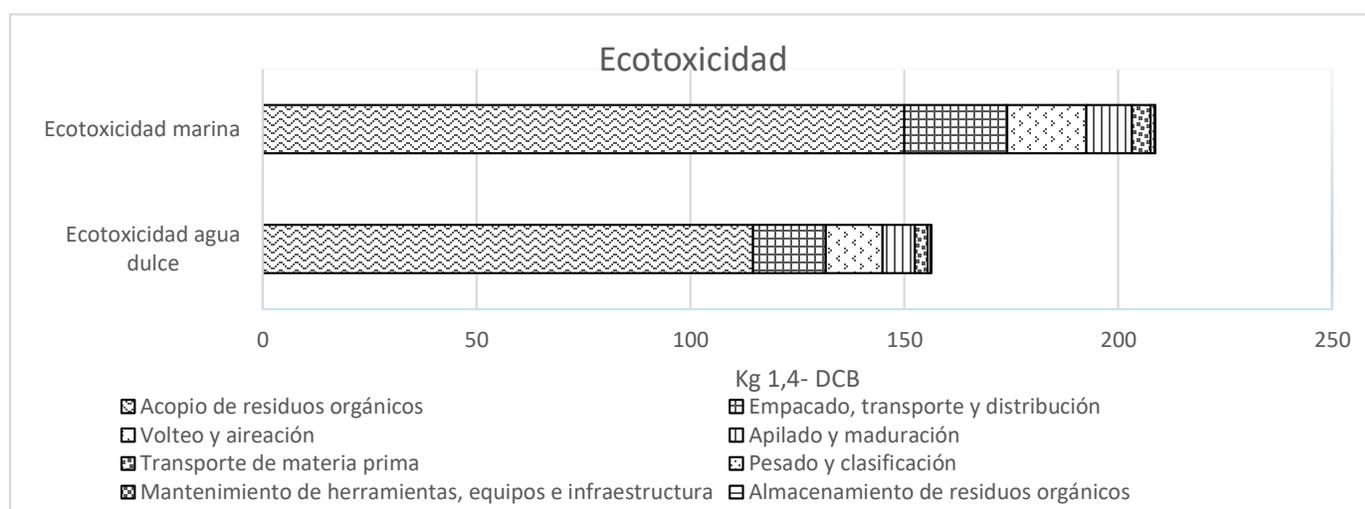
#### 4.2.9. Ecotoxicidad de agua dulce y marina.

La categoría de ecotoxicidad implica los efectos de las sustancias químicas, producidas de manera antropogénica o no, sobre los organismos acuáticos en este caso de agua dulce y mar, la evaluación de los impactos nos presenta resultados para estas categorías donde las mayores contribuciones se dan por los mismos procesos del tratamiento de residuos orgánicos, para la ecotoxicidad de agua dulce el almacenamiento de residuos orgánicos apporto con 797.35 Kg

1,4-DCB y el acopio de residuos orgánicos con 114.63 Kg 1,4-DCB, estando en proporción del total en 83.61% y 12.02% respectivamente, así mismo para la ecotoxicidad marina el almacenamiento residuos orgánicos aportó con 1054.17 Kg 1,4-DCB y el acopio de residuos orgánicos con 149.97 Kg 1,4-DCB, estando en proporción del total en 83.47% y 11.88% respectivamente, comparativamente según los resultados obtenidos la ecotoxicidad marina es mayor con 1262.91 Kg 1,4-DCB a la ecotoxicidad de agua dulce de 953.65 Kg 1,4-DCB mostrado a continuación.

Fig. 15.

Ecotoxicidad de agua dulce y marina.

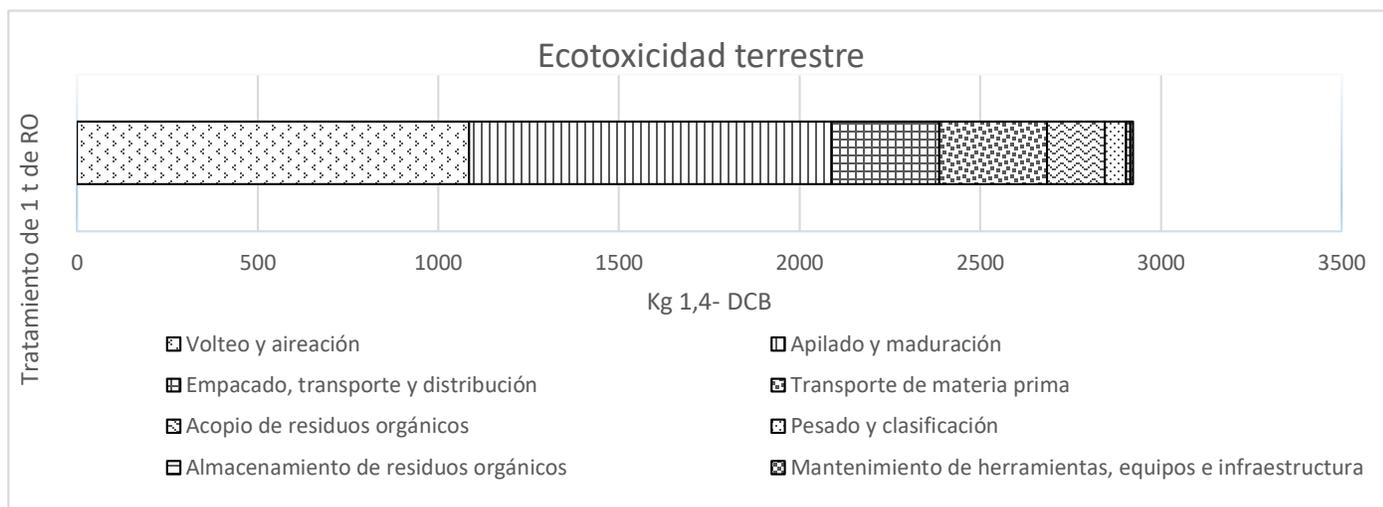


#### 4.2.10. Ecotoxicidad terrestre

Para el evaluación de ecotoxicidad terrestre el método utilizado ReCiPe nos muestra resultados en Kg 1,4-DCB, que hacen una referencia a los diferentes tipos de sustancias químicas que producen un efecto adverso sobre los organismos vivos terrestre, para el tratamiento de los residuos orgánicos en la planta de valorización de El Agustino los principales procesos aportantes a esta categoría son: Volteo y aireación con 1084 Kg 1,4-DCB, además de apilado y maduración con 1002.87 Kg 1,4-DCB, así mismo empacado, transporte y distribución con 299.48 Kg 1,4-DCB, finalmente transporte de materia prima con 297.18 Kg 1,4-DCB que representa una proporción de 37.11%, 34.31%, 10.24% y 10.17% respectivamente, la ecotoxicidad terrestre total evidenciada fue de 2923.35 Kg 1,4-DCB como se muestra.

Fig. 16.

Ecotoxicidad terrestre.

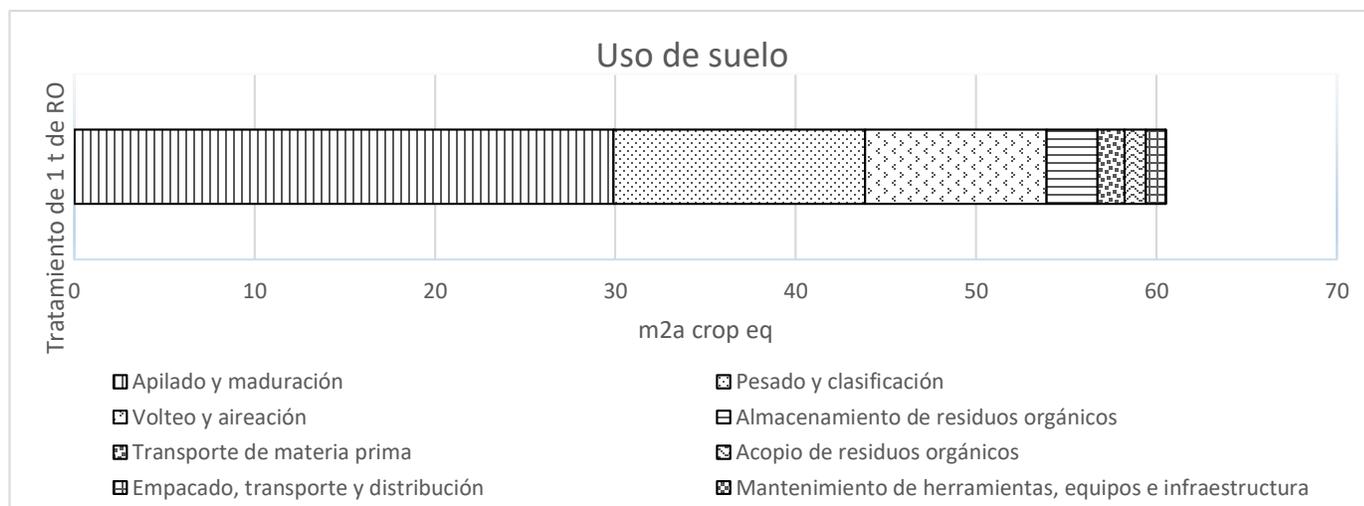


#### 4.2.11. Uso de suelo

En la categoría de uso de suelo se tomaron en cuenta los espacios que se destinaron para el tratamiento de residuos orgánicos en los diferentes procesos de la producción del compost, se midió en  $m^2$ a crop eq, los principales procesos que contribuyeron a esta categoría son los de: apilado y maduración con  $29.9 m^2$ a crop eq, pesado y clasificación con  $13.94 m^2$ a crop eq, volteo y aireación con  $10.05 m^2$ a crop eq y almacenamiento de residuos orgánicos  $2.85 m^2$ a crop eq, que representan en proporciones de 49.4%, 23.02% 16.67% y 4.7% del total respectivamente, el uso de suelo en total fue de  $60.55 m^2$ a crop eq.

Fig. 17.

Uso de suelo.

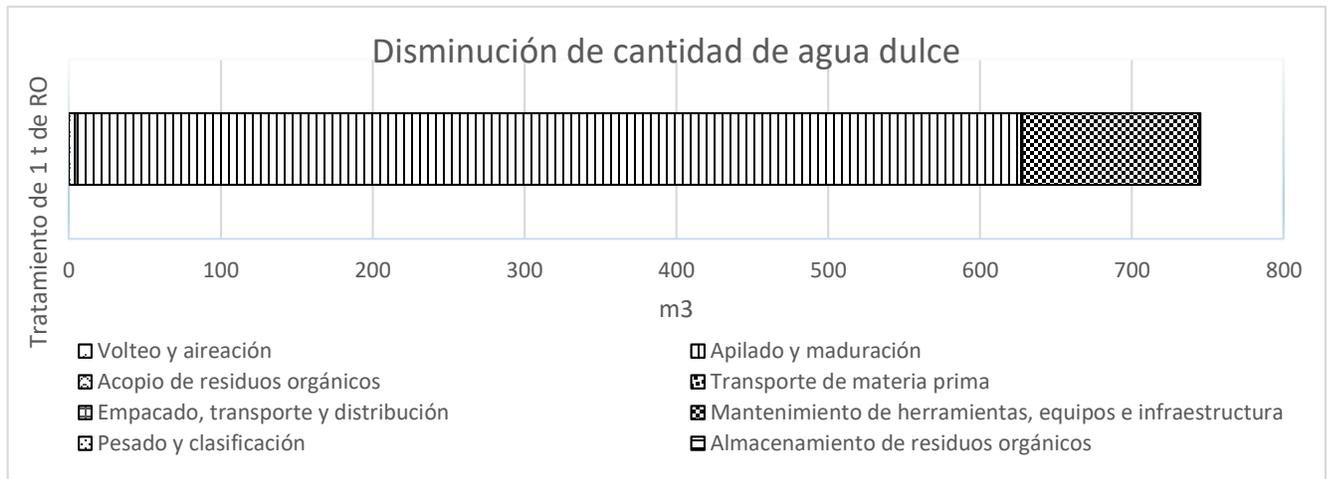


#### 4.2.12. Disminución de cantidad de agua dulce

El agua dulce recurso importante para la vida es usado en el proceso de tratamiento de residuos orgánicos en la municipalidad de El Agustino que utiliza agua potable para la producción del compost, el volumen total de agua usado es de 744.77 m<sup>3</sup> usados principalmente por los procesos de apilado y maduración con 623.26 m<sup>3</sup> y mantenimiento equipos, herramientas e infraestructura con 15.6 m<sup>3</sup>, que representan una proporción de 83.68% y 15.65% respectivamente del total.

Fig. 18.

Disminución de cantidad de agua dulce.

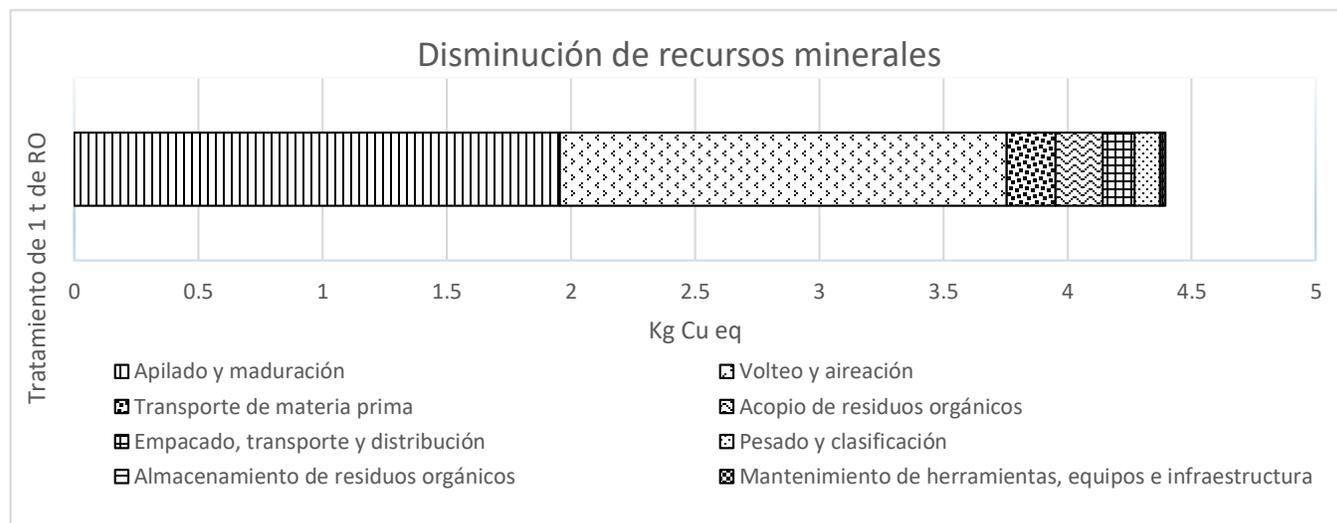


#### 4.2.13. Disminución de recursos minerales

En esta categoría los impactos ambientales no son de gran magnitud, se mide en kilogramos de cobre equivalente (Kg Cu eq) los principales procesos que aportan a esta categoría son apilado y maduración con 1.95 Kg Cu eq, además de 1.8 Kg Cu eq que están en proporción de 44.49% y 40.97% respectivamente del total, con una disminución total de recursos minerales de 4.39 Kg Cu eq.

Fig. 19.

Disminución de recursos minerales.

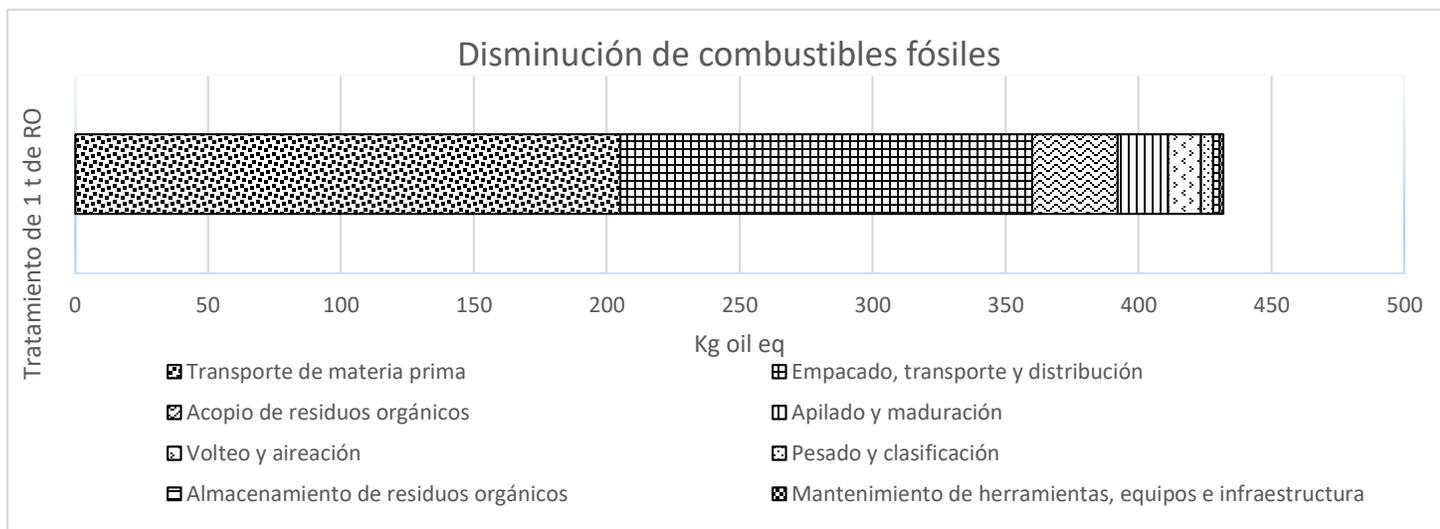


4.2.14. Disminución de combustibles fósiles

Los combustibles fósiles se refieren a materia orgánica formada a partir de descomposición de plantas y animales que son convertidos en petróleo, carbón, gas o aceites. Dentro del sistema de tratamiento de residuos orgánicos los procesos que mas contribuyeron a esta categoría son los de transporte de materia prima con 205.07 Kg oil eq y empacado, transporte y distribución con 155 Kg oil eq, siendo una proporción de 47.48% y 35.89% respectivamente del total, además la cantidad total de disminución de combustibles fósiles es de 431.94 Kg oil eq.

Fig. 20.

Diminución de combustibles fósiles.

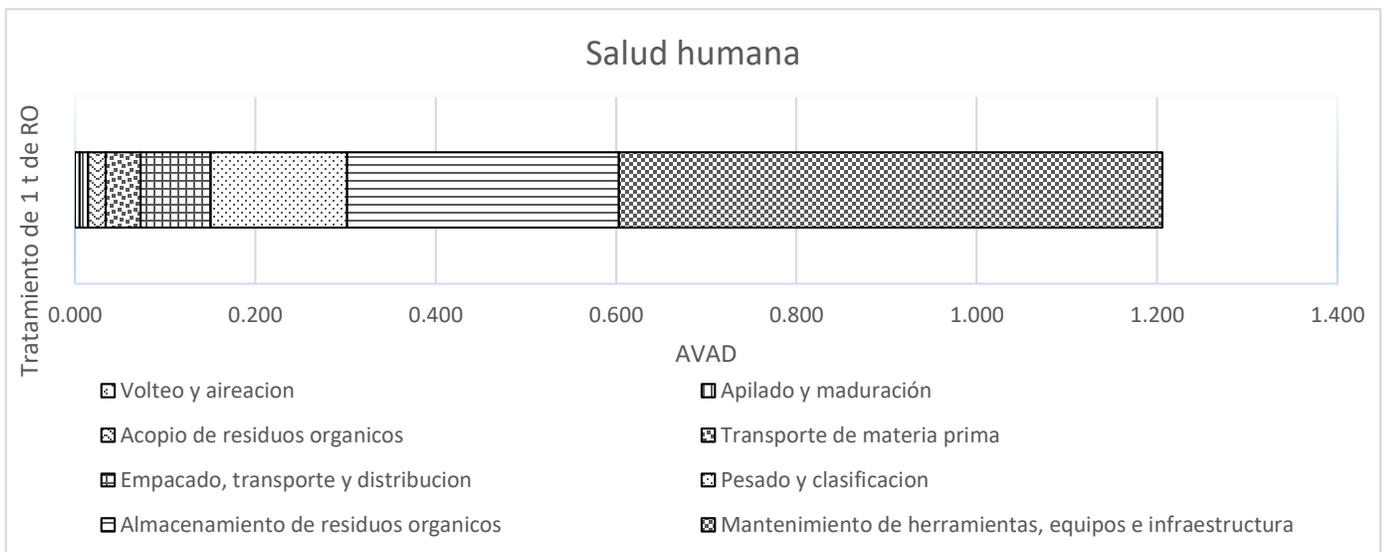


#### 4.2.15. Salud humana

La metodología ReCiPe también analiza los impactos para categorías de impacto final (endpoint) que son de una cuantificación mas debatible entre la comunidad científica, sin embargo, nos parece importante mostrar los resultados para servir como base en otras investigaciones, la categoría de salud humana tiene como unidad años de vida ajustados por discapacidad (DALY) se observa que los procesos que mas contribuyen a esta categoría son: mantenimiento de herramientas, equipos e infraestructura con 0.6 DALY, seguido de almacenamiento de residuos orgánicos con 0.3 DALY, finalmente pesado y clasificación con 0.15 DALY, que contribuyen en proporciones de 50%, 25% y 12.5% respectivamente, el total de años de vida ajustados por discapacidad son 1.21.

Fig. 21.

Salud humana.

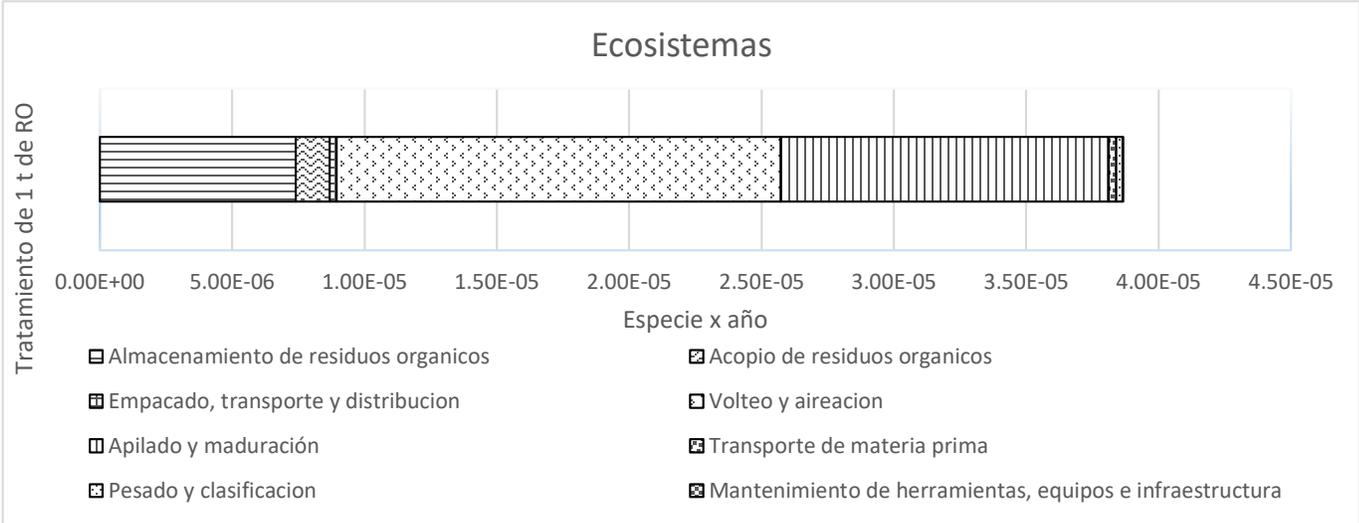


#### 4.2.16. Ecosistemas

La unidad para medir los impactos en los ecosistemas es de especies por año, pudiendo ser negativos los valores, lo cual indicaría que se está evitando la disminución de especies por año, sin embargo, la presente investigación nos muestra resultados positivos y los procesos que aportan en mayor medida a esta categoría son: volteo y aireación con  $1.68E-05$  especies por año, apilado y maduración con  $1.24E-05$  especies por año, finalmente almacenamiento

de residuos orgánicos con 7.40E-06, la proporción que aportan estos procesos es de 43.4%, 32.08% y 19.13% de un total de 3.87E-05.

Fig. 22.  
Ecosistemas.



4.2.17. Aumento del coste de recursos.

El aumento de costo de recursos ayuda a entender mejor desde una perspectiva de mercado como los impactos ambientales generan pérdidas económicas o evita costos, en la presente investigación los principales procesos generadores del aumento de costo de recursos son volteo y aireación con 88.68\$, seguido por apilado y maduración con 66.17\$, la proporción que aportan estos procesos al total es de 47.86% y 35.71% de un total de 185.31\$.

Fig. 23.  
Aumento del costo de recursos.

## V. DISCUSIÓN

Para la discusión se compararán los resultados obtenidos en la presente investigación con las investigaciones usadas como antecedentes, según Li et al. (2018) concluyó que el compostaje mostró los mejores resultados en cuanto a calentamiento global y reducir el uso de recursos, en contraste nuestra investigación muestra que una de las categorías más afectadas es la de calentamiento global, el uso de recursos como agua no es menor, esta diferencia puede deberse a que el proceso de compostaje estudiado por Li et al. (2018) contiene un pretratamiento con digestión anaerobia.

Masella et al. (2018) encontró que la mayoría de los impactos en el proceso de tratamiento por compostaje es debido al transporte de materia prima, en comparación el proceso de transporte brinda importantes aportes a las categorías de impacto pero no son los más importantes en nuestra investigación, esto puede deberse ya que Masella et al. (2018) lleva a cabo su investigación en Florencia, Italia y es un sistema de gestión para una ciudad completa, lo que ocasiona que se tenga que centralizar la planta ocasionando largos viajes desde los puntos más lejanos, como lo propone Masella et al. (2018) con vehículos más livianos, motores más eficientes, combustibles mejorados y una planta local in situ se logrará disminuir considerablemente los impactos ambientales.

Keng et al. (2020) realizó una investigación a escala comunitaria así que las características son similares, Keng et al. (2020) nos dice que para que el compostaje sea exitoso se debe combinar de manera correcta las partes de materia de carga y residuos orgánicos, además de esto la materia de carga debería ser un material a base de carbono, en el modelo de El Agustino se elabora el compost de manera más empírica por tanto estas especificaciones deberían revisarse y disminuir los impactos ambientales generados.

Behrooznia et al. (2018) encontró que el requerimiento de energía del escenario compostaje-vertedero (CL) fue 29% mayor que el del escenario vertedero (L) para el tratamiento de la misma cantidad de residuos sólidos urbanos (RSU). Transporte, combustible Diésel y maquinarias fueron los principales contribuyentes al consumo total de energía en ambos escenarios. En comparación a los resultados obtenidos, no se evaluaron dos escenarios de tratamiento de residuos orgánicos y los procesos de transporte por el uso de combustibles es el principal contribuyente al consumo total de energía.

Jensen, Møller y Scheutz (2016) la planta combinada de compostaje y biogás de la región alemana tuvo el desempeño ambiental más complejo con grandes sustituciones de electricidad y fertilizantes, pero también grandes emisiones de metano, óxido nitroso y amoniaco. En concordancia con los resultados obtenidos en la presente investigación que se evidencian, grandes emisiones de metano, óxido nitroso y amoniaco.

Khandelwal et al. (2019) encontraron que la combinación del reciclaje con compostaje de la fracción biodegradable y el vertido de residuos es la opción más adecuada, el análisis de sensibilidad también indicó que se reducen los impactos ambientales considerablemente al aumentar el reciclaje. Como recomendaciones Khandelwal et al. (2019) afirman que para descubrir una imagen completa del sistema de gestión de residuos sólidos se debe estudiar de manera social, económica y los factores psicológicos. En la presente investigación se evidencia que, debido a los residuos no orgánicos, que llegan a la planta de valorización, los impactos ambientales negativos se incrementan, además no se relacionaron los factores psicológicos, económicos y social.

## **VI. CONCLUSIONES**

El objetivo principal de la presente investigación fue analizar el ciclo de vida del compost, al término y mediante una comparación con otros modelos de compostaje se pudo observar que la producción de compost en El Agustino se realiza de manera casi artesanal, lo que incrementa los impactos ambientales en la mayoría de categorías evaluadas, además a diferencia de otros sistemas evaluados no existe pretratamiento para los residuos orgánicos, de la misma forma los residuos generados por la producción tiene fácil contacto directo con el ambiente y acceso a los ecosistemas aledaños, todo esto ocasionado por una falta de logística y procedimientos adecuados para el tratamiento de los residuos orgánicos, además la falta de instrumentos necesarios para el control del proceso, como termómetros, válvulas de flujo y medidores de humedad, ocasionan que el proceso no se realice de manera óptima.

Se reconoció que los impactos ambientales negativos que conlleva la producción del compost se pueden clasificar en impactos de punto medio e impactos de punto final, los impactos de punto medio son: Potencial de calentamiento global medido en unidades de Kg CO<sub>2</sub> eq, disminución de la capa de ozono en Kg CFC11 eq, toxicidad humana en Kg 1,4-DCB, formación de oxidantes fotoquímicos en Kg NO<sub>x</sub> eq, formación de material particulado en

Kg PM 2.5 eq, radiación ionizante en kBq Co-60 eq, acidificación terrestre en Kg N eq, eutrofización de agua dulce en Kg N eq , eutrofización de agua marina en Kg P eq, ecotoxicidad terrestre en Kg 1,4-DCB, ecotoxicidad marina en Kg 1,4-DCB, uso de suelo en m<sup>2</sup>a crop eq , disminución de agua dulce en m<sup>3</sup>, disminución de recursos minerales en Kg Cu eq, disminución de combustibles fósiles en Kg oil eq ; además también se pudieron evidenciar categorías de impacto final como: salud humana que se mide en años de vida ajustados por discapacidad, ecosistemas en especies por año y aumento del costo de recursos en \$.

Los procesos que generan los mayores impactos ambientales por el ciclo de vida del compost son: apilado y maduración, seguido por volteo y aireación los cuales pertenecen a la parte del compostaje de los residuos orgánicos, el proceso de apilado y maduración mostro los mayores impactos en las categorías de: Potencial de calentamiento global con 1085.59 Kg CO<sub>2</sub> eq, toxicidad humana con 14.03 Kg 1,4-DCB, formación de oxidantes fotoquímicos con 14.03 Kg 1,4-DCB, acidificación terrestre con 39.68 Kg SO<sub>2</sub>, ecotoxicidad terrestre con 1002.87 Kg 1,4-DCB, de la misma forma volteo y aireación mostro los mayores impactos en las categorías de potencial de calentamiento global con 2316.1 Kg CO<sub>2</sub> eq, toxicidad humana con 21.18 Kg 1,4-DCB y acidificación terrestre con 60.24 Kg SO<sub>2</sub> eq.

La magnitud de los impactos ambientales se obtuvieron gracias a la utilización del software OpenLCA el cual nos proporcionó los siguientes impactos por categorías, para el calentamiento global el total obtenido fue de 4982.4 kg CO<sub>2</sub> eq, formación de oxidantes fotoquímicos con 11.25 kg NO<sub>x</sub> eq, disminución de recursos minerales con 4.4 kg Cu eq, disminución de recursos fósiles 431.94 kg oil eq, acidificación terrestre 101 kg SO<sub>2</sub> eq, uso de suelo 60.55 m<sup>2</sup>a crop eq, uso de agua 623.26 m<sup>3</sup>, ecotoxicidad terrestre 2923.35 kg 1,4-DCB, toxicidad humana no cancerígena 72.59 kg 1,4-DCB, eutrofización de agua dulce 0.3 kg P eq, toxicidad humana cancerígena 22012.2 kg 1,4-DCB, ecotoxicidad marina 1262.91 kg 1,4-DCB, eutrofización marina 0.61 kg N eq, formación de material particulado 14.5 kg PM<sub>2.5</sub> eq, radiación ionizante 0.68 kBq Co-60 eq, ecotoxicidad de agua dulce 953.64 kg 1,4-DCB y disminución de la capa de ozono 0.024 kg CFC11 eq.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Se deberá no solo describir los flujos de entrada al sistema, sino también conocer las propiedades físico químicas del entorno y saber de qué manera se comportaran a el sistema

que se está evaluando, datos como el tipo de suelo, distancia de la capa freática, pH y un análisis químico de los cuerpos de agua cercanos, logran que los resultados puedan relacionarse de manera más certera con los posibles impactos en el ambiente, se tendría que comparar diferentes sistemas de gestión de residuos que son llevados a cabo por el mismo sujeto, de esta manera se podrá comparar cual es el modelo más óptimo y quizá combinar estos sistemas para una mejora continua en los procesos.

Se recomienda eliminar el proceso de almacenado de residuos orgánicos y promover el uso de los residuos para las camas de compostaje desde el momento que llegue a la planta de valorización, en caso no se logre eliminar este proceso ya sea por falta de capacidad productiva o logística, es necesario acondicionar un área protegida y no a la intemperie como lo es ahora, de esta forma disminuirán considerablemente los impactos ambientales causados por este proceso. Así mismo, se recomienda someter a los residuos orgánicos a un pretratamiento en reactores donde se podrán controlar las emisiones de gases, de esta manera la contribución a categorías como calentamiento global y acidificación disminuirá considerablemente, en el caso de los lixiviados, se debe llevar un control de la cantidad de humedad necesaria para el proceso de maduración e implementar un sistema de captado, tratamiento y eliminación de lixiviados, con esto se logran disminuir significativamente las contribuciones a las categorías como uso de agua y eutrofización.

Una forma de disminuir los impactos ambientales negativos es utilizar materia prima más óptima, por eso se recomienda un cambio en las estrategias de recolección de residuos orgánicos, pues llegan con grandes cantidades de biomasa, lo que genera altas contribuciones a las categorías de impacto, solo deberán ser tratados residuos orgánicos de origen vegetal, además de esto, se deberá asegurar que otros residuos inorgánicos llegue a la planta de valorización, evitando costos en transporte, clasificación y eliminación de residuos, en el caso de estiércol de caballo y para disminuir las emisiones que se origina a partir de este, se deberá controlar la alimentación del animal, con productos que no incluyan fermentación y se pueden disminuir los valores en las categorías de calentamiento global, además de esto se deberá reevaluar las rutas de recolección de materia prima, se debe pensar en optimizar el proceso de recolección haciendo rutas que puedan recoger lo necesario para el día en un solo

viaje y usando una sola movilidad, con el fin de poder recolectar una mayor cantidad de residuos se deben cambiar los camiones barandas por camiones compactadores.

## REFERENCIAS

BAENA PAZ, G. y PROQUEST., 2017. *Metodología de la investigación (3a. ed.)* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 9786077447528. Disponible en: <file:///C:/Users/Tony Sanchez/Downloads/metodologia de la investigacion Baena 2017.pdf>.

AGYEMAN, F.O. y TAO, W., 2014. Anaerobic co-digestion of food waste and dairy manure: Effects of food waste particle size and organic loading rate. *Journal of Environmental Management* [en línea], vol. 133, pp. 268-274. ISSN 10958630. DOI 10.1016/j.jenvman.2013.12.016. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.12.016>.

BAENA PAZ, G. y PROQUEST., 2017. *Metodología de la investigación (3a. ed.)*. S.l.: s.n. ISBN 9786077447528.

BALLARDO, C., VARGAS-GARCÍA, M. del C., SÁNCHEZ, A., BARRENA, R. y ARTOLA, A., 2020. Adding value to home compost: Biopesticide properties through *Bacillus thuringiensis* inoculation. *Waste Management* [en línea], vol. 106, pp. 32-43. ISSN 18792456. DOI 10.1016/j.wasman.2020.03.003. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.03.003>.

BEHROOZNI, L., SHARIFI, M., ALIMARDANI, R. y MOUSAVI-AVVAL, S.H., 2018a. Sustainability analysis of landfilling and composting-landfilling for municipal solid waste management in the north of Iran. *Journal of Cleaner Production*, vol. 203, pp. 1028-1038. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2018.08.307.

BEHROOZNI, L., SHARIFI, M., ALIMARDANI, R. y MOUSAVI-AVVAL, S.H., 2018b. Sustainability analysis of landfilling and composting-landfilling for municipal solid waste management in the north of Iran. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 203, pp. 1028-1038. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2018.08.307. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.307>.

CALDUCH, R., 2017. *Metodos y tecnicas de investigacion. Escuela Normal Superior- Mestros Argentinos*, vol. 2, pp. 180.

CAO, X. y HARRIS, W., 2010. Properties of dairy-manure-derived biochar pertinent to its

- potential use in remediation. *Bioresource Technology* [en línea], vol. 101, no. 14, pp. 5222-5228. ISSN 09608524. DOI 10.1016/j.biortech.2010.02.052. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.02.052>.
- CIROTH, A., 2007. ICT for environment in life cycle applications openLCA - A new open source software for Life Cycle Assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 12, no. 4, pp. 209-210. ISSN 09483349. DOI 10.1065/lca2007.06.337.
- COELHO, M.C. y ALMEIDA, D., 2015. Cycling mobility - A life cycle assessment based approach. *Transportation Research Procedia* [en línea], vol. 10, no. July, pp. 443-451. ISSN 23521465. DOI 10.1016/j.trpro.2015.09.094. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2015.09.094>.
- COLLINS, A., 2017. Ecological Footprint. *International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology*, pp. 1-3. DOI 10.1002/9781118786352.wbieg0018.
- DEMIRER, G.N. y CHEN, S., 2008. Anaerobic biogasification of undiluted dairy manure in leaching bed reactors. *Waste Management*, vol. 28, no. 1, pp. 112-119. ISSN 0956053X. DOI 10.1016/j.wasman.2006.11.005.
- DI MARIA, A., EYCKMANS, J. y VAN ACKER, K., 2020. *Use of LCA and LCC to help decision-making between downcycling versus recycling of construction and demolition waste* [en línea]. S.l.: Elsevier Ltd. ISBN 9780128190555. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819055-5.00026-7>.
- DODDS, W.K. y SMITH, V.H., 2016. Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in streams. *Inland Waters*, vol. 6, no. 2, pp. 155-164. ISSN 2044205X. DOI 10.5268/IW-6.2.909.
- ECORAE, 2013. Informe de Resultados del ACV del proceso. , pp. 115.
- EDWARDS, J., OTHMAN, M., CROSSIN, E. y BURN, S., 2018. Life cycle assessment to compare the environmental impact of seven contemporary food waste management systems. *Bioresource Technology* [en línea], vol. 248, pp. 156-173. ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2017.06.070. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.070>.

- EL-MASHAD, H.M. y ZHANG, R., 2010. Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste. *Bioresource Technology* [en línea], vol. 101, no. 11, pp. 4021-4028. ISSN 09608524. DOI 10.1016/j.biortech.2010.01.027. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.027>.
- EUROPEAN COMMISSION -- JOINT RESEARCH CENTRE -- INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND SUSTAINABILITY, 2010. *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook -- General guide for Life Cycle Assessment -- Detailed guidance* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 978-92-79-19092-6. Disponible en: <http://ict.jrc.ec.europa.eu/pdf-directory/ILCD-Handbook-General-guide-for-LCA-DETAIL-online-12March2010.pdf>.
- GALLI, F., PIROLA, C., PREVITALI, D., MANENTI, F. y BIANCHI, C.L., 2017. AC. *Journal of Cleaner Production* [en línea], ISSN 0959-6526. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.09.268. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.268>.
- HAUSCHILD, M.Z., 2017. *Introduction to LCA methodology*. S.l.: s.n. ISBN 9783319564753.
- HAYA, E., 2016. Análisis de Ciclo de Vida Master en Ingeniería y Gestión Medioambiental. [en línea], pp. 43. Disponible en: [https://static.eoi.es/savia/documents/teoria\\_acv\\_migma1.pdf](https://static.eoi.es/savia/documents/teoria_acv_migma1.pdf).
- HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ COLLADO, C. y BAPTISTA LUCIO, P., 1997. *Metodología dela investigación*. S.l.: s.n. ISBN 9684229313.
- HILLS, D.J. y NAKANO, K., 1984. Effects of particle size on anaerobic digestion of tomato solid wastes. *Agricultural Wastes*, vol. 10, no. 4, pp. 285-295. ISSN 01414607. DOI 10.1016/0141-4607(84)90004-0.
- HOEKSTRA, A.Y., 2017. Water Footprint Assessment: Evolvment of a New Research Field. *Water Resources Management*, vol. 31, no. 10, pp. 3061-3081. ISSN 15731650. DOI 10.1007/s11269-017-1618-5.
- 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. *Science of the Total Environment*, vol. 729, pp. 138622. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.138622.
- ISO, 2004. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework (ISO 14040:2006). *Environmental Management System Requirements*, vol. 44, no. 0. ISSN 1470-160X. DOI 10.1016/j.ecolind.2011.01.007.
- JENSEN, M.B., MØLLER, J. y SCHEUTZ, C., 2016. Comparison of the organic waste management systems in the Danish-German border region using life cycle assessment (LCA). *Waste Management* [en línea], vol. 49, pp. 491-504. ISSN 18792456. DOI 10.1016/j.wasman.2016.01.035. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.035>.
- KENG, Z.X., CHONG, S., NG, C.G., RIDZUAN, N.I., HANSON, S., PAN, G.T., LAU, P.L., SUPRAMANIAM, C.V., SINGH, A., CHIN, C.F. y LAM, H.L., 2020a. Community-scale composting for food waste: A life-cycle assessment-supported case study. *Journal of Cleaner Production*, vol. 261, pp. 121220. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.121220.
- KENG, Z.X., CHONG, S., NG, C.G., RIDZUAN, N.I., HANSON, S., PAN, G.T., LAU, P.L., SUPRAMANIAM, C.V., SINGH, A., CHIN, C.F. y LAM, H.L., 2020b. Community-scale composting for food waste: A life-cycle assessment-supported case study. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 261, pp. 121220. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.121220. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121220>.
- KHANDELWAL, H., THALLA, A.K., KUMAR, S. y KUMAR, R., 2019. Life cycle assessment of municipal solid waste management options for India. *Bioresource Technology* [en línea], vol. 288, no. May, pp. 121515. ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2019.121515. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121515>.
- LAMNATOU, C., MOTTE, F., NOTTON, G., CHEMISANA, D. y CRISTOFARI, C., 2018. Building-integrated solar thermal system with/without phase change material: Life

- cycle assessment based on ReCiPe, USEtox and Ecological footprint. *Journal of Cleaner Production*, vol. 193, pp. 672-683. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2018.05.032.
- LAMNATOU, C., NICOLAÏ, R., CHEMISANA, D., CRISTOFARI, C. y CANCELLIERI, D., 2019. Biogas production by means of an anaerobic-digestion plant in France: LCA of greenhouse-gas emissions and other environmental indicators. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 670, pp. 1226-1239. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.03.211. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.211>.
- LENZEN, M., SUN, Y.Y., FATURAY, F., TING, Y.P., GESCHKE, A. y MALIK, A., 2018. The carbon footprint of global tourism. *Nature Climate Change* [en línea], vol. 8, no. 6, pp. 522-528. ISSN 17586798. DOI 10.1038/s41558-018-0141-x. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/s41558-018-0141-x>.
- LI, A., KROEZE, C., KAHIL, T., MA, L. y STROKAL, M., 2019. Water pollution from food production: lessons for optimistic and optimal solutions. *Current Opinion in Environmental Sustainability* [en línea], vol. 40, pp. 88-94. ISSN 18773435. DOI 10.1016/j.cosust.2019.09.007. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.09.007>.
- LI, D.S., HUANG, Q.F., GUAN, L.H., ZHANG, H.Z., LI, X., FU, K.L., CHEN, Y.X., WAN, J.B., HUANG, M. y BI, H.C., 2020. Targeted bile acids and gut microbiome profiles reveal the hepato-protective effect of WZ tablet (Schisandra sphenanthera extract) against LCA-induced cholestasis. *Chinese Journal of Natural Medicines*, vol. 18, no. 3, pp. 211-218. ISSN 18755364. DOI 10.1016/S1875-5364(20)30023-6.
- LI, Y., MANANDHAR, A., LI, G. y SHAH, A., 2018. Life cycle assessment of integrated solid state anaerobic digestion and composting for on-farm organic residues treatment. *Waste Management*, vol. 76, pp. 294-305. ISSN 18792456. DOI 10.1016/j.wasman.2018.03.025.
- LI, Yangyang, LI, Yu, ZHANG, D., LI, G., LU, J. y LI, S., 2016. Solid state anaerobic co-digestion of tomato residues with dairy manure and corn stover for biogas production.

*Bioresource Technology*, vol. 217, pp. 50-55. ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2016.01.111.

LI, Z., YIN, F., LI, H., WANG, X. y LIAN, J., 2013. A novel test method for evaluating the methane gas permeability of biogas storage membrane. *Renewable Energy* [en línea], vol. 60, pp. 572-577. ISSN 09601481. DOI 10.1016/j.renene.2013.06.010. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2013.06.010>.

LIANG, T., WANG, S., LU, C., JIANG, N., LONG, W., ZHANG, M. y ZHANG, R., 2020. Environmental impact evaluation of an iron and steel plant in China: Normalized data and direct/indirect contribution. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 264, pp. 121697. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.121697. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121697>.

LINHARES, T., TERESA, M. y AMORIM, P. De, 2017. ScienceDirect ScienceDirect LCA of textile dyeing with Acacia Dealbata tree bark : a case study research. *Procedia Engineering*, vol. 200, pp. 365-369. ISSN 1877-7058. DOI 10.1016/j.proeng.2017.07.051.

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* [en línea], vol. 20, pp. 304-315. ISSN 23525509. DOI 10.1016/j.spc.2019.07.005. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2019.07.005>.

LUIS, P., 2004. Población Muestra Y Muestreo. *Punto Cero*, vol. 09, no. 08, pp. 69-74. ISSN 1815-0276.

MANCINI, E., ARZUMANIDIS, I. y RAGGI, A., 2019. Evaluation of potential environmental impacts related to two organic waste treatment options in Italy. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 214, pp. 927-938. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2018.12.321. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.321>.

MARGALLO, M., ZIEGLER-RODRIGUEZ, K., VÁZQUEZ-ROWE, I., ALDACO, R.,

- IRABIEN, Á. y KAHHAT, R., 2019. Science of the Total Environment Enhancing waste management strategies in Latin America under a holistic environmental assessment perspective : A review for policy support. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 689, pp. 1255-1275. ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.06.393. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.393>.
- MASELLA, P., GUERRINI, L., ANGELONI, G. y PARENTI, A., 2018. Environmental Impact Assessment of Municipal Solid Waste (MSW) Management in Florence, Italy. *European Journal of Sustainable Development*, vol. 7, no. 3, pp. 387-395. ISSN 22395938. DOI 10.14207/ejsd.2018.v7n3p387.
- MINAM, 2012. Informe anual de residuos sólidos municipales y no municipales en el Perú Gestión 2012. *Ministerio del Ambiente* [en línea], pp. 270. Disponible en: <http://www.redrrss.pe/material/20140423145035.pdf>.
- NERI, E., PASSARINI, F., CESPI, D., ZOFFOLI, F. y VASSURA, I., 2018. Sustainability of a bio-waste treatment plant: Impact evolution resulting from technological improvements. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 171, pp. 1006-1019. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.10.082. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.082>.
- OLDFIELD, T.L., WHITE, E. y HOLDEN, N.M., 2018. The implications of stakeholder perspective for LCA of wasted food and green waste. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 170, pp. 1554-1564. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.09.239. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.239>.
- OLIVEIRA, L.S.B.L., OLIVEIRA, D.S.B.L., BEZERRA, B.S., SILVA PEREIRA, B. y BATTISTELLE, R.A.G., 2017. Environmental analysis of organic waste treatment focusing on composting scenarios. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 155, pp. 229-237. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2016.08.093. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.093>.
- OTZEN, T. y MANTEROLA, C., 2017. Técnicas de Muestreo sobre una Población a

Estudio. *International Journal of Morphology*, vol. 35, no. 1, pp. 227-232. ISSN 07179502. DOI 10.4067/S0717-95022017000100037.

PACE, S.A., YAZDANI, R., KENDALL, A., SIMMONS, C.W. y VANDERGHEYNST, J.S., 2018. Impact of organic waste composition on life cycle energy production, global warming and Water use for treatment by anaerobic digestion followed by composting. *Resources, Conservation and Recycling* [en línea], vol. 137, no. May, pp. 126-135. ISSN 18790658. DOI 10.1016/j.resconrec.2018.05.030. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.05.030>.

PADRÓN PÁEZ, J.I., CARVALHO, A., PRADO-RUBIO, O.A. y ROMÁN-MARTÍNEZ, A., 2017. *Assessment of sustainable wastewater treatment networks design applying LCA*. S.l.: Elsevier Masson SAS. ISBN 9780444639653.

PERGOLA, M., PICCOLO, A., PALESE, A.M., INGRAO, C., DI MEO, V. y CELANO, G., 2018. A combined assessment of the energy, economic and environmental issues associated with on-farm manure composting processes: Two case studies in South of Italy. *Journal of Cleaner Production*, vol. 172, pp. 3969-3981. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.04.111.

PERINI, S., LUGLIETTI, R., MARGOUDI, M., OLIVEIRA, M. y TAISCH, M., 2018. Learning and motivational effects of digital game-based learning (DGBL) for manufacturing education –The Life Cycle Assessment (LCA) game. *Computers in Industry* [en línea], vol. 102, pp. 40-49. ISSN 01663615. DOI 10.1016/j.compind.2018.08.005. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.08.005>.

POWELL, J.T. y CHERTOW, M.R., 2019. Quantity, Components, and Value of Waste Materials Landfilled in the United States. *Journal of Industrial Ecology*, vol. 23, no. 2, pp. 466-479. ISSN 15309290. DOI 10.1111/jiec.12752.

PRATIWI, A., RAVIER, G. y GENTER, A., 2018. Life-cycle climate-change impact assessment of enhanced geothermal system plants in the Upper Rhine Valley. *Geothermics* [en línea], vol. 75, no. August 2017, pp. 26-39. ISSN 03756505. DOI 10.1016/j.geothermics.2018.03.012. Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2018.03.012>.

PUSHKAR, S., 2019. Modeling the substitution of natural materials with industrial byproducts in green roofs using life cycle assessments. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 227, pp. 652-661. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.04.237. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.237>.

RANA, A., DYCK, R., HU, G., HEWAGE, K., RODRIGUEZ, M.J., ALAM, M.S. y SADIQ, R., 2020. A process-based LCA for selection of low-impact DBPs control strategy for indoor swimming pool operation. *Journal of Cleaner Production*, pp. 122372. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.122372.

RAOUFI, K., WISTHOFF, A.K., DUPONT, B.L. y HAAPALA, K.R., 2019. A questionnaire-based methodology to assist non-experts in selecting sustainable engineering analysis methods and software tools. *Journal of Cleaner Production*, vol. 229, pp. 528-541. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.05.016.

RATTANATUM, T., FRAUZEM, R., MALAKUL, P. y GANI, R., 2018. *LCSoft as a Tool for LCA: New LCIA Methodologies and Interpretation* [en línea]. S.l.: Elsevier Masson SAS. ISBN 9780444642356. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64235-6.50005-X>.

RECANATI, F., ARRIGONI, A., SCACCABAROZZI, G., MARVEGGIO, D., MELIÀ, P. y DOTELLI, G., 2018. LCA Towards Sustainable Agriculture: The Case Study of Cupuaçu Jam from Agroforestry. *Procedia CIRP*, vol. 69, no. May, pp. 557-561. ISSN 22128271. DOI 10.1016/j.procir.2017.11.003.

RESENDE, J.D., NOLASCO, M.A. y PACCA, S.A., 2019. Life cycle assessment and costing of wastewater treatment systems coupled to constructed wetlands. *Resources, Conservation and Recycling* [en línea], vol. 148, no. August 2018, pp. 170-177. ISSN 18790658. DOI 10.1016/j.resconrec.2019.04.034. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.04.034>.

REZAEI, F., BULLE, C. y LESAGE, P., 2019. Integrating building information modeling and life cycle assessment in the early and detailed building design stages. *Building and Environment* [en línea], vol. 153, no. February, pp. 158-167. ISSN 03601323. DOI

10.1016/j.buildenv.2019.01.034. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.01.034>.

SABIA, E., GAULY, M., NAPOLITANO, F., SERRAPICA, F., CIFUNI, G.F. y CLAPS, S., 2020. Dairy sheep carbon footprint and ReCiPe end-point study. *Small Ruminant Research* [en línea], vol. 185, pp. 106085. ISSN 09214488. DOI 10.1016/j.smallrumres.2020.106085. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2020.106085>.

SALAZAR, C., 2018. Fundamentos Básicos De Estadística. ,

SCHLANBUSCH, R.D., FUFA, S.M., HÄKKINEN, T., VARES, S., BIRGISDOTTIR, H. y YLMÉN, P., 2016. Experiences with LCA in the Nordic Building Industry - Challenges, Needs and Solutions. *Energy Procedia* [en línea], vol. 96, no. 1876, pp. 82-93. ISSN 18766102. DOI 10.1016/j.egypro.2016.09.106. Disponible en:  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.106>.

SILVA-MARTÍNEZ, R.D. y SANCHES-PEREIRA, A., 2018. Organic waste to energy in Latin America and the Caribbean (Lac); state-of-the-art literature review. *European Biomass Conference and Exhibition Proceedings* [en línea], vol. 2018, no. 26thEUBCE, pp. 149-165. ISSN 22825819. DOI 10.1016/j.renene.2020.04.056. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.056>.

THIES, C., KIECKHÄFER, K., SPENGLER, T.S. y SODHI, M.S., 2019. Assessment of social sustainability hotspots in the supply chain of lithium-ion batteries. *Procedia CIRP* [en línea], vol. 80, pp. 292-297. ISSN 22128271. DOI 10.1016/j.procir.2018.12.009. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.12.009>.

ULUDAG-DEMIRER, S., DEMIRER, G.N., FREAR, C. y CHEN, S., 2008. Anaerobic digestion of dairy manure with enhanced ammonia removal. *Journal of Environmental Management*, vol. 86, no. 1, pp. 193-200. ISSN 03014797. DOI 10.1016/j.jenvman.2006.12.002.

VAVERKOVÁ, M.D., ADAMCOVÁ, D., WINKLER, J., KODA, E., PETRŽELOVÁ, L. y MAXIANOVÁ, A., 2020. Alternative method of composting on a reclaimed municipal waste landfill in accordance with the circular economy: Benefits and risks. *Science of*

*the Total Environment*, vol. 723, pp. 1-8. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.137971.

VINCI, G., ASCENZO, F.D., ESPOSITO, A., MUSARRA, M., RAPA, M. y ROCCHI, A., 2019. A sustainable innovation in the Italian glass production : LCA and Eco- Care matrix evaluation. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 223, pp. 587-595. ISSN 0959-6526. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.03.124. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.124>.

WANG, L., LI, Y., CHEN, P., MIN, M., CHEN, Y., ZHU, J. y RUAN, R.R., 2010. Anaerobic digested dairy manure as a nutrient supplement for cultivation of oil-rich green microalgae *Chlorella* sp. *Bioresource Technology* [en línea], vol. 101, no. 8, pp. 2623-2628. ISSN 09608524. DOI 10.1016/j.biortech.2009.10.062. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.10.062>.

WITJES, S. y LOZANO, R., 2016. Towards a more Circular Economy: Proposing a framework linking sustainable public procurement and sustainable business models. *Resources, Conservation and Recycling* [en línea], vol. 112, pp. 37-44. ISSN 18790658. DOI 10.1016/j.resconrec.2016.04.015. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.04.015>.

XU, F., SHI, J., LV, W., YU, Z. y LI, Y., 2013. Comparison of different liquid anaerobic digestion effluents as inocula and nitrogen sources for solid-state batch anaerobic digestion of corn stover. *Waste Management* [en línea], vol. 33, no. 1, pp. 26-32. ISSN 0956053X. DOI 10.1016/j.wasman.2012.08.006. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2012.08.006>.

ZHANG, B., SU, S., ZHU, Y. y LI, X., 2020. An LCA-based environmental impact assessment model for regulatory planning. *Environmental Impact Assessment Review* [en línea], vol. 83, no. April, pp. 106406. ISSN 01959255. DOI 10.1016/j.eiar.2020.106406. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106406>.

ZHANG, Z., ZHU, K. y HEWINGS, G.J.D., 2017. A multi-regional input–output analysis of the pollution haven hypothesis from the perspective of global production fragmentation. *Energy Economics* [en línea], vol. 64, pp. 13-23. ISSN 01409883. DOI

10.1016/j.eneco.2017.03.007.

Disponible

en:

[http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2017.03.007.](http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2017.03.007)