



**Alternativas para el aprovechamiento de los residuos de poda del
arbolado urbano de Valledupar según su impacto en el inventario del
ciclo de vida**

Autor:

Rafael A. García Barbas

**Universidad del Norte
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
Barranquilla, Colombia**

**Alternativas para el aprovechamiento de los residuos de poda del
arbolado urbano de Valledupar según su impacto en el inventario del
ciclo de vida**

Autor:

Rafael A. García Barbas

Tesis presentada como requisito para optar al título de:

Magister en Ingeniería ambiental

Director:

Carlos Pacheco

Universidad del Norte

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Barranquilla, Colombia

Tabla de contenido

Resumen.....	viii
Abstrac.....	ix
Introducción	x
1. Alternativas para el aprovechamiento de los residuos de poda del arbolado urbano de Valledupar según su impacto en la huella de carbono.....	1
1.1 Objetivo General	1
1.1.3 Objetivos específicos.....	1
2. Marco referencial	2
2.1 Marco Conceptual	2
2.2 Marco teórico	11
2.2.1 Internacional.....	11
2.3 Marco Municipal.....	21
2.4 Marco Metodológico.....	24
2.4.1 Hipótesis.....	24
2.4.2 Diseño de la Investigación.....	24
3. Análisis De Datos.....	31
3.1 Proceso De Compostaje Aerobio.....	37
3.2 Resultados De Compostaje Aerobio	49
3.3 Resultado De La Obtención De Pellets.....	58
3.4 Proceso De Biodigestión.....	62
Resultados.....	71
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
Referencias.....	81

Lista de tablas

Tabla 1. Normatividad	18
Tabla 2. Residuos de poda urbana de árboles en Valledupar	31
Tabla 3. Entradas del proceso de trituración.....	39
Tabla 4. Salidas del proceso de trituración	39
Tabla 5. Impacto ambiental.....	40
Tabla 6. Entradas del proceso de mezclado	41
Tabla 7. Salidas del proceso de mezclado.....	41
Tabla 8. Entradas del proceso de mezclado	43
Tabla 9. Salidas del proceso de fermentación	43
Tabla 10. Entradas del proceso maduración.....	45
Tabla 11. Salidas del proceso de trituración	46
Tabla 12. Entradas del tamizaje y reuso	47
Tabla 13. Salidas del tamizaje y reuso.....	47
Tabla 14. Resultados de compostaje aerobio	49
Tabla 15. Resultado del producto final.....	50
Tabla 16. Entradas del proceso de secado para pellets	53
Tabla 17. Entradas de trituración para pellets.....	54
Tabla 18. Salidas trituración para pellets	54
Tabla 19. Entradas de mezclado para proceso de pellets	56
Tabla 20. Salidas de mezclado para proceso de pellets	56
Tabla 21. Entradas de prensado	57
Tabla 22. Salidas de prensado	57

Tabla 23. Sumatoria de los procesos.....	59
Tabla 24. Resultado de producto final.....	59
Tabla 25. Entradas en el triturado para producción de biogás.....	64
Tabla 26. Salidas en el triturado para producción de biogás	64
Tabla 27. Entradas en la mezcla para producción de biogás.....	65
Tabla 28. Entradas en el mezclado para producción de biogás.....	66
Tabla 29. Entradas en la fermentación para producción de biogás	67
Tabla 30. Salidas en la fermentación para producción de biogás.....	67
Tabla 31. Entradas en tamizaje para producción de biogás	69
Tabla 32. Salidas en tamizaje para producción de biogás.....	69

Lista de Figuras

Figura 1. ReCiPe, 2008 adaptado de de www.earthshiftglobal.com , archivo pdf de 2010-2017 EarthShift Global LLC	3
Figura 2.Elaboración con datos propios del Comportamiento de los Residuos de Poda Urbana recogidos por la empresa ASEO DEL NORTE S.A. E.S.P. en el municipio de Valledupar durante el año 2020.	33
Figura 3. Foto aérea de la ubicación del relleno sanitario Los corazones tomada de Google Earth.	35
Figura 4. Diagrama de flujo de una planta de procesamiento de residuos de poda de árboles en Compostaje mediante un proceso aerobio, diseñada para un montaje en la ciudad de Valledupar.....	36
Figura 5. Diagrama de flujo de una planta de procesamiento de residuos de poda de árboles en pellets, diseñada para un montaje en la ciudad de Valledupar teniendo en cuenta investigaciones bibliográficas en el tema.	36
Figura 6. Diagrama de flujo de una planta de procesamiento de residuos de poda de árboles en Biogás mediante un proceso de biodigestión, diseñada para un montaje en la ciudad de Valledupar teniendo en cuenta investigaciones bibliográficas en el tema. ...	37
Figura 7. Impacto ambiental del mezclado.....	42
Figura 8. Impacto ambiental de fermentación	45
Figura 9. Impacto ambiental del proceso de maduración.....	46
Figura 10. Impacto ambiental del proceso de tamizaje y reuso	48
Figura 11. Modelo según ReCiPe 2008 del Proceso de Producción de Compost. Es la representación gráfica de los inputs y los outputs por etapas del proceso para obtener	

el producto final.....	50
Figura 12. Representación gráfica que se genera en la categoría de Acidificación y Eutrofización, y donde se evidencia que las etapas del proceso con mayor impacto al medio ambiente son trituración y fermentación.....	50
Figura 13. Representación gráfica que se genera en la categoría de impacto en el ecosistema y donde se evidencia que las etapas del proceso con impacto contundente al medio ambiente es trituración.	51
Figura 14. Representación gráfica que se genera en la categoría de Cambio Climático, donde se	51
Figura 15. Representación gráfica que se genera en la categoría de impacto respiratorio por material inorgánico y donde se evidencia que las etapas del proceso más dominante al impacto respiratorio por material orgánico es trituración	52
Figura 16. Resultados de impacto ambiental en la suma de los procesos.....	52
Figura 17. Impacto ambiental del secado	54
Figura 18. Impacto ambiental de trituración para pellets.....	55
Figura 19. Impacto ambiental de mezclado para proceso de pellets	56
Figura 20. Impacto ambiental del prensado	58
Figura 21. Modelo según ReCiPe 2008 del Proceso de Producción de Pellets. Es la representación gráfica de los inputs y los outputs por etapas del proceso para obtener el producto final.....	60
Figura 22. Representación gráfica que se genera en la categoría de Acidificación y Eutrofización, y donde se evidencia que la etapa del proceso con mayor impacto al medio ambiente ha sido el triturado (escrito de este modo para que el programa OPEN LCA lo	

disting.....	60
Figura 23. Representación gráfica que se genera en la categoría de impacto en el ecosistema y donde se evidencia que la etapas del proceso con mayor impacto en el ecosistema es triturado.	61
Figura 24. Representación gráfica que se genera en la categoría de Cambio Climático, donde se evidencia que la etapa del proceso más dominante en el impacto al Cambio Climático es triturado.....	61
Figura 25. Representación gráfica que se genera en la categoría de impacto respiratorio por material inorgánico y donde se evidencia que las etapas del proceso más dominante al impacto respiratorio por material orgánico es trituración.	62
Figura 26. Resultados de impacto ambiental de la suma de los procesos.....	62
Figura 27. Impacto ambiental del triturado.....	65
Figura 28. Impacto ambiental del mezclado.....	66
Figura 29. Impacto ambiental del mezclado.....	68
Figura 30. Impacto ambiental calculado.....	70
Figura 31. Entradas y salidas en producción de biogás.....	71
Figura 32. Modelo según ReCiPe 2008 del Proceso de Producción de Biogás. Es la representación gráfica de los inputs y los outputs por etapas del proceso para obtener el producto final.....	72
Figura 33. Representación gráfica que se genera en la categoría de Acidificación y Eutrofización, donde se evidencia que la etapa del proceso con mayor impacto al medio ambiente ha sido el triturado.	72
Figura 34. Representación gráfica que se genera en la categoría de impacto en el	

ecosistema y donde	73
Figura 35. Representación gráfica que se genera en la categoría de Cambio Climático.	73
Figura 36. Representación gráfica que se genera en la categoría de Cambio Climático	74
Figura 37. Representación gráfica que se genera en la categoría de impacto respiratorio por material inorgánico	74
Figura 38. Resultados de impacto ambiental de la suma de los procesos.....	75

Resumen

Valledupar es admirado por sus visitantes no solo por su música y el festival de la leyenda vallenata, sino también por el verde de sus árboles presentes en sus calles, avenidas y los frentes de las viviendas. Se estima que la ciudad cuenta con más de 70.000 árboles donde la gran mayoría de sus especies están representadas por los géneros como: tabebuia, cassia, crescentiae inga. Con nombres comunes como: árbol de Mango (*Mangifera indica*), Caucho (*Ficus soatensis*) y Uva Venezolana (*Jambos sp.*) entre otros. (Alcaldía de Valledupar, 2017).

La generación y gestión de residuos urbanos es considerado un problema global crítico, y un problema medioambiental frecuentemente no reconocido que gira en torno a la generación de residuos urbanos, afectando también a la ciudad de Valledupar.

En el presente estudio se busca elaborar el análisis entre algunas alternativas de transformación de residuos de poda del arbolado urbano de Valledupar mediante la Evaluación del Ciclo de Vida de cada uno de los procesos de transformación dispuestos en esta investigación, con la finalidad de proponer una estrategia que aporte al desarrollo sostenible, cuidado del medio ambiente y bienestar social de la comunidad.

Obteniendo así la información necesaria para identificar problemáticas e impactos ambientales, para de esta manera analizar la información de alternativas de gestión existentes, y de igual forma evaluar el ciclo de vida y cada uno de los procesos identificados, mediante una metodología aplicada de análisis de datos a cada uno de los procesos propuestos para la transformación de residuos de poda del arbolado de Valledupar, llegando así aplicar un análisis de ciclo de vida (ACV), y probabilidades de ejecución dependiendo de las condiciones actuales del Municipio.

Abstrac

Valledupar is admired by its visitors not only for its music and the festival of the Vallenato legend, but also for the green of its trees present in its streets, avenues and the fronts of the houses. It is estimated that the city has more than 70,000 trees where the vast majority of its species are represented by the genera such as: *tabebuia*, *cassia*, *crescentiae inga*. With common names such as: Mango tree (*Mangifera indica*), Rubber (*Ficus soatensis*) and Venezuelan Grape (*Jambos sp.*) Among others. (Valledupar Mayor's Office, 2017).

The generation and management of urban waste is considered a critical global problem, and a frequently unrecognized environmental problem that revolves around the generation of urban waste, also affecting the city of Valledupar.

The present study seeks to elaborate the analysis between some alternatives for the transformation of pruning waste from the urban trees of Valledupar through the Life Cycle Assessment of each of the transformation processes provided in this research, in order to propose a strategy that contributes to the sustainable development, care of the environment and social welfare of the community.

Obtaining the necessary information to identify problems and environmental impacts, in order to analyze the information on existing management alternatives, and in the same way evaluate the life cycle and each of the identified processes, through an applied data analysis methodology. to each of the processes proposed for the transformation of pruning waste from Valledupar trees, thus applying a life cycle analysis (LCA), and execution probabilities depending on the current conditions of the Municipality.

Introducción

La ciudad de Valledupar cuenta con una población de 459.349 habitantes (DANE, 2018); sin embargo, en los últimos años ha tenido un importante crecimiento por causas asociadas a factores socioeconómicos, violencia, inmigración de países vecinos, desarrollo etc. Toda esta situación ha desencadenado problemas sociales y ambientales de gran importancia debido a que a mayor cantidad de habitantes la demanda de bienes y servicios aumenta produciendo un mayor impacto ambiental, de esta manera se generan mayor porcentaje de residuos y demandan un mayor impacto adverso

Valledupar es admirado por sus visitantes no solo por su música y el festival de la leyenda vallenata, sino también por el verde de sus árboles presentes en sus calles, avenidas y los frentes de las viviendas, se estima que la ciudad cuenta con aproximadamente 70.000 árboles donde la gran mayoría de sus especies están representadas por los géneros como: Mango (*Mangifera indica*), Caucho (*Ficus soatensis*) y Uva Venezolana (*Jambos sp*).

La poda urbana es la remoción de ramas, frutos o follaje, y los desechos de la poda urbana representan una porción significativa de los RSU 7-10% en Brasil, según la Secretaría Nacional de Saneamiento Ambiental de Brasil, dicha practica para algunos autores es innecesaria, puesto que los árboles urbanos protegen a los transeúntes del calor y de la lluvia y el follaje también disminuye la temperatura de ambiente. Generalmente se eliminan en rellenos sanitarios y botaderos a cielo abierto, o en algunos casos, cuando se cuenta con hornos, estos son incinerados. Los residuos de la poda urbana suelen ser transportados en camiones específicos al relleno sanitario, separados de la recolección de basura doméstica, y pueden conllevar altos costos, además de ser

un desperdicio de recurso energético, ya que podrían ser utilizados por varios sectores industriales como combustible para incineración y generación de energía (Kimemia y Annegarn, 2011; Gordon, 2017; Khudyakova et al., 2017). La eliminación de residuos de poda urbana en un relleno sanitario privado cuesta en promedio US \$22 / tonelada en el sureste de Brasil, pero podría costar hasta US \$63 / tonelada en el noreste de Brasil (Meira 2010; João Pessoa 2016). Para el caso de nuestro país (Colombia), el valor promedio es US \$10,36 / m³ (equivalente a \$38.400 pesos colombianos). Cada ciudad tiene diferentes valores, por ejemplo: para la ciudad de Medellín, el valor promedio es US \$10,21 / m³ (equivale a \$37.853 pesos colombianos), para la ciudad de Bogotá el valor promedio es US \$ 9,98 / ton (equivale a \$37.000 pesos colombianos) para la ciudad de Valledupar. Si bien es cierto el alto porcentaje de arbolado en la ciudad tiene múltiples beneficios, el ejercicio de la actividad de mantenimiento trae como consecuencias la generación de residuos de podas los cuales deben ser tratados y dispuestos de manera adecuada, para que logre minimizar el impacto ambiental. En Valledupar la gestión de residuos de podas no se está realizando de manera adecuada debido a que los árboles en muchas ocasiones son podados y los residuos son transportados y dispuestos por la misma comunidad en lugares no autorizados generando daños ambientales. A pesar de ser residuos orgánicos, si su disposición es en zonas no adecuadas, pueden generar vectores que afectan a la salud de la comunidad circundante.

Según datos de la empresa prestadora del servicio de aseo, que para el caso de Valledupar es ASEO DEL NORTE S.A. E.S.P, la ciudad produce 869.78 toneladas de residuos de poda al año, indicando en sus reportes que se podan en promedio al mes 3.702 árboles, se corta y se realiza manteniendo y corte de césped a 559,305,5 m² de

área verde y se generan 72,48 ton/mes de residuos de poda. Es necesario mencionar que la empresa prestadora del servicio de aseo tiene identificados 15 puntos críticos llamados de esta forma pues en ellos la ciudadanía dispone o deja abandonados los residuos de podas; ya sea de manera personal o a través del pago a las personas que popularmente son llamadas “Macheteros”, conductores de vehículos de tracción animal.

1. Alternativas para el aprovechamiento de los residuos de poda del arbolado urbano de Valledupar según su impacto en la huella de carbono.

1.1 Objetivo General

Diseñar alternativas de gestión del arbolado de Valledupar como una estrategia que aporte beneficios en el desarrollo sostenible, cuidado del medio ambiente y bienestar social de la comunidad.

1.1.3 Objetivos específicos

- a. Identificar la problemática actual y el impacto ambiental de la inadecuada disposición de los residuos de poda del arbolado urbano en la ciudad de Valledupar.
- b. Analizar información de las alternativas de gestión existentes a nivel mundial (recolección, tratamiento y disposición final), para hacer interpretaciones con criterios de valor al ser implementados en el municipio de Valledupar.
- c. Evaluar el ciclo de vida de los procesos y puntos críticos de impacto ambiental, mediante un método de análisis de datos de los procesos propuestos para la transformación del residuo de poda del arbolado de Valledupar.
- d. Analizar la aplicación del proceso de aprovechamiento de los residuos de poda urbana de Valledupar elegido según su impacto ambiental, análisis de ciclo de vida y probabilidad de ejecución acorde a las condiciones propias del municipio.

2. Marco referencial

2.1 Marco Conceptual

En este marco conceptual se presenta información relevante con la terminología a ser usada en este documento.

Valledupar: Es un municipio colombiano, capital del departamento del Cesar. Es la cabecera del municipio homónimo, el cual tiene una extensión de 4493 km², 483 250 habitantes y junto a su área metropolitana reúne 662 9413 habitantes; está conformado por 25 corregimientos y 102 veredas.

Ciudad verde: Se entiende por Ciudades Verdes aquellas con abundantes espacios naturales para disfrute de sus ciudadanos, bajas emisiones de gases efecto invernadero, bajos niveles de contaminación acústica, ciudades caracterizadas por una edificación bioclimática y sostenible y cuyos habitantes están educados en el respeto (ISM, 2020).

Gestión de residuos: La gestión de los residuos contempla el conjunto de acciones necesarias para realizar su recogida, trasladarlos a los centros de tratamiento y efectuar las operaciones finales para recuperarse y reintegrarse como materias primas en los circuitos productivos o eliminarlos (Ambientum, 2019).

Ciclo de vida: La (ISO 14001, 2015) define el ciclo de vida como un conjunto de etapas consecutivas e interrelacionadas de un producto o servicio desde el momento en que se obtiene la materia prima hasta que se le

entregan al consumidor final.

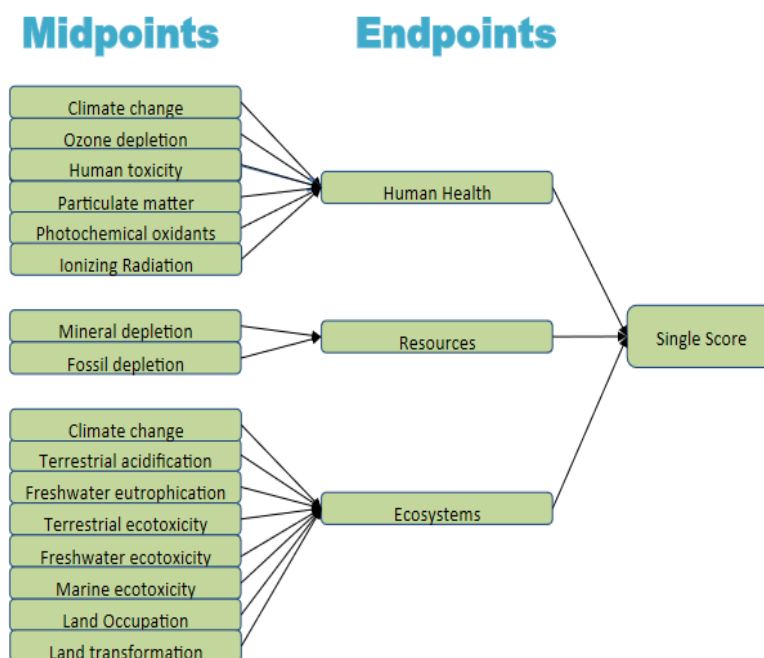


Figura 1. ReCiPe, 2008 adaptado de de www.earthshiftglobal.com, archivo pdf de 2010-2017 EarthShift Global LLC

Midpoints (puntos medios): Un factor de caracterización es una representación cuantitativa de la importancia de una emisión o extracción específica. Puntuación de impacto por categoría = $\sum Qi mi$ Q = factor de caracterización mi = magnitud de la emisión / extracción i = tipo de sustancia, Unidades de medida típicas: kg CO2 eq., Kg CFC eq., Kg 2,4 diclorobenceno eq., Kg Nitrógeno eq. , MJ primaria (SIG, 2020)

Endpoints (puntos finales):

- Daño a la salud humana DALYs (Disability Adjusted Life Years)

DALY =YLL+YLDxQ donde, YLL equivale a Años de vida perdidos, YLD a Años de vida con discapacidad, Q a Calidad de Vida, 0 a salud óptima, 1 a vida perdida

•Daño al ecosistema = PDF*m²*yr (Fracción de especies potencialmente desaparecidas multiplicado por el área sobre la cual desaparecen multiplicado por el número de años de daño).

•Daño a los recursos (excedente de energía, energía primaria, aumentó de costo).

ReCiPe: Es un método de evaluación del impacto del ciclo de vida que comprende indicadores de categoría armonizados en el punto medio y en el nivel del punto final, que fue desarrollado en 2008 por el Instituto Nacional de Salud Pública y Medio Ambiente de RIVM, CML, PRé Consultants y la Universidad de Radboud Nijmegen en nombre del Ministerio de Infraestructura y Medio Ambiente de los Países Bajos (Informe de resultados del ACV del proceso, 2013).

Relleno sanitario: El relleno sanitario es un método diseñado para la disposición final de la basura. Este método consiste en depositar en el suelo los desechos sólidos, los cuales se esparcen y compactan reduciéndose al menor volumen posible para que así ocupen un área pequeña. Luego se cubren con una capa de tierra y se compactan nuevamente al terminar el día (BINASS, 1997).

Huella de carbono: la Huella de Carbono es un indicador que busca cuantificar la cantidad de Emisiones de Gases Efecto Invernadero (directas e indirectas), medidas en emisiones de CO² equivalente, que son liberadas a la atmósfera debido a las actividades humanas (Ministerio de Ambiente, 2021).

Efecto invernadero: Es el fenómeno natural que permite a nuestro planeta mantener las condiciones necesarias para albergar vida. La atmósfera captura algunos de los rayos del sol que llegan a la corteza terrestre, manteniéndolos dentro para conseguir una temperatura media de 15 °C. Si la atmósfera no atrapara ninguno de estos rayos que rebotan en la superficie, la temperatura media de la Tierra sería de -18 0 °C (Ambientum, 2019)

Residuos Vegetales: También llamados residuos de jardín o residuos verdes, este término se le da a la variedad de residuos de origen vegetal integrados por hojas (especialmente de arbustos y árboles); plantas herbáceas desechadas o sus recortes; recortes y ramas (grandes y 15 pequeñas) de grandes arbustos, ornamentales y árboles; recorte de césped, entre otros; generados en el desarrollo de las actividades de jardinería, paisajismo, y mantenimiento general en sectores públicos. Los componentes de estos residuos difieren uno del otro en lo que se refiere a las propiedades físicas y químicas (nutrientes) y a la biodegradabilidad. La naturaleza estructural y la proporción de carbono con relación al nitrógeno de las plantas herbáceas desechadas y sus cortes provocan la descomposición más rápida, mientras que las plantas maduras no logran esto. Todas estas características antes descritas afectan la facilidad, el tipo de manejo, disposición, y de ese modo determinan el método de manejo. (Salinas, 2018).

Tala: Cortar un árbol desde su base por alguna de las siguientes razones:

- Árboles que ponen en peligro casas, edificios, obras públicas, monumentos y la movilidad urbana.
- Árboles que interfieren con redes de servicio público, fachadas de edificios o

monumentos históricos.

- Construcción o ampliación de calles, avenidas u otras obras de infraestructura vial.
- Mantenimiento o construcción de unidades habitacionales o edificios.
- Obstrucción de la iluminación.
- Árboles con apariencia estética poco atractiva, enfermos o muertos.
- Poco espacio entre árboles, entre otras.

Poda: El proceso de poda de arbolado urbano se define como la realización de cortes en algunas partes de los árboles (principalmente ramas y raíces) para evitar los siguientes problemas:

- Árboles que ponen en peligro casas, edificios, obras públicas, monumentos y la movilidad urbana.
- Árboles que interfieren con redes de servicio público, fachadas de edificios o monumentos históricos.
- Construcción o ampliación de calles, avenidas u otras obras de infraestructura vial.
- Mantenimiento o construcción de unidades habitacionales o edificios.
- Obstrucción de la iluminación. Árboles con apariencia estética poco atractiva, enfermos o muertos.
- Poco espacio entre árboles, entre otras.
- Además, el proceso de poda ofrece los siguientes beneficios:

- Asegurar la viabilidad de los árboles y la integridad de los transeúntes y sus bienes.
- Darle formación y equilibrio al árbol, por aspectos relacionados con su sanidad.
- Principales intervenciones a la vegetación urbana: tala, poda y rocería.
- Mejorar la visibilidad de las señales de tránsito, el alumbrado público y el desplazamiento de vehículos y personas.
- Minimizar los riesgos derivados de su eventual caída.

Las podas son heridas que se le causan a los árboles, por esta razón deben ser realizadas con las herramientas adecuadas y los cuidados posteriores necesarios para mantener su forma, salud y longevidad. Para este proceso se debe ofrecer una correcta planificación de la actividad que garantice que los recursos físicos, humanos, técnicos sean aptos para brindar el resultado adecuado.

Rocería: Cortar los pastos y arvenses que crecen en las zonas verdes públicas hasta dejarlas a una altura de aproximadamente cinco centímetros. Ya que esta actividad se realiza con guadaña, es necesario tener mucho cuidado de no generar heridas en la base de los árboles porque llevan a anillarlos y puede ser la puerta de entrada para diferentes patógenos.

Compostaje: Definido por el Reglamento para la producción primaria, procesamiento, empacado, etiquetado, almacenamiento, certificación, importación, comercialización de Productos Agropecuarios Ecológicos del Ministerio de Agricultura de Colombia, como el Proceso de bioxidación aerobia de materiales orgánicos que conduce a una etapa de maduración mínima (estabilización), se convierte en un recurso orgánico estable y

seguro para ser utilizado en la agricultura (Ministerio de Agricultura, 2006).

Polución: Contaminación intensa y dañina del agua o del aire, producida por los residuos de procesos industriales o biológicos (WWF, 2008).

Abono Orgánico: se puede comprender como un proceso de semi- descomposición aeróbica (con presencia de oxígeno) de residuos orgánicos por medio de poblaciones de microorganismos, que existen o se agregan a los residuos, con condiciones controladas, y que producen un material parcialmente estable de lenta descomposición que fertiliza las plantas y nutre la tierra (Ramos Agüero & Terry Alfonso, 2014).

Fermentación: La fermentación es un proceso metabólico que produce cambios químicos en sustratos orgánicos mediante la acción de enzimas. Su propósito es degradar las moléculas a otras más simples (Carbonero, 2009).

Catalizadores: Dicho de una sustancia: Que, en pequeña cantidad, incrementa la velocidad de una reacción química y se recupera sin cambios esenciales al final de la reacción (Written, 2020).

Biodigestor: Los biodigestores se presentan como una tecnología que permite dar una segunda oportunidad a los residuos para generar energía de manera sostenible (AQUAE, 2018).

Cambio climático: Variación estadísticamente significativa, ya sea de las condiciones climáticas medias o de su variabilidad, que se mantiene durante un período prolongado (generalmente durante decenios o por más tiempo) (IPCC, 2021).

Capa de ozono: Se entiende por capa de ozono atmosférico por encima de la capa limítrofe del planeta.

Deterioro del medio ambiente: Alteración en las características físicas, químicas o

biológicas del aire, agua o suelo. Modificaciones desfavorables del estado ecológico y ambiental como resultado de procesos naturales y/o actividades humanas. Disminución de la capacidad del medio ambiente para responder a los objetivos o necesidades sociales (Alfonso Ávila, 2014).

Impacto Ambiental: Cualquier cambio en el medio ambiente, sea adverso o benéfico, como resultado en forma total o parcial de las actividades, productos o servicios de una organización (Ambiente Bogotá, 2020).

Sostenible: Se entiende la utilización de componentes de la diversidad biológica de un modo y a un ritmo que no ocasione la disminución a largo plazo de la diversidad biológica, con lo cual se mantienen las posibilidades de ésta de satisfacer las necesidades y las aspiraciones de las generaciones actuales y futuras (Ambiente Bogotá, 2020).

Pellet: Según la MMA (Ministerio del Medio Ambiente) de Chile los define como “un tipo de combustible catalogado como biomasa sólida. Se fabrica en base a lo que es el desperdicio del proceso de aserrado de la madera,” explica Juan Carlos Troncoso, presidente de Ditar Chile (Asociación Gremial de Profesionales de Climatización y Refrigeración).

Pectina: es un éster metílico que se obtiene de extracción acuosa de los materiales vegetales comestibles, cáscaras de cítricos y pulpas de varias frutas, esta ayuda a mantener unidas las paredes de las células adyacentes y demás propiedades (Cerón Salazar & Cardona Alzate , 2011).

Celulosa: Tiene como función principal el formar parte de la pared celular de las células vegetales, en una proporción de 40% en promedio, en la madera sería de un 50%

y funciona de sostén celular (Cerón Salazar & Cardona Alzate , 2011).

OPEN LCA (Open source Life Cycle Assessment software): Es un software libre, gratuito y multiplataforma para realizar completos análisis de ciclo de vida; modificables y adaptable a las necesidades requeridas del estudio. Está orientado al ACV, pero también permite realizar la medición de huella de carbono e hídrica y dispone de una amplia gama de base de datos. (Ramírez, 2017). Este trabajo se basa con eficiencias energéticas promedio fijas , además la impresión de los resultados, depende las pérdidas mecánicas y eléctricas, en el momento de modelar el sistema; ya que el consumo energético de los equipos contribuye a disminuir o incrementar las pérdidas del gasto energético total.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Internacional

El manejo de residuos es una problemática que trasciende casi con el crecimiento de la humanidad, mostrando un reflejo de lo que la sociedad consume día a día. Mientras se vivía en aldeas y comunidades pequeñas la mayoría de los residuos eran orgánicos y degradables pues no se estaba sujeto a altos consumismos comerciales. Una vez llega la revolución industrial, si bien trajo muchos avances en los sistemas de producción y oportunidades de incrementos económicos, también trajo los modelos de consumo y, con ello, el incremento de residuos orgánicos y la aparición de residuos químicos y no biodegradables que generan malestares a las personas en las distintas comunidades. Hubo que buscar y asignar lugares para deshacerse de los desechos sin que molestaran y con el paso de los años se volvió insostenible.

Para ese proceso de crecimiento industrial produciendo vapor teniendo como combustible el carbón, condujo a la idea de construir en Nottingham el primer incinerador de basura, que hacia el año 1874 proporcionó un sistema organizado, convirtiendo los residuos urbanos en vapor y energía. A este avance, se le puede dar el crédito como el primer tratamiento tecnológico con sistema organizado para control de residuos urbanos y, de esta forma, mantenerlos controlados.

A mediados del siglo XIX un joven Edwin Chadwick lideraba el sanitary movement británico y en unión con los higienistas Monlau y Méndez Álvaro, se encargaron de señalar los impactos negativos que podía tener la basura en la salud, se adhieren estudiosos químicos generando las contribuciones más importantes, entre ellos, el alemán Justus von Liebig quienes “pensaban que el reciclaje de los desechos podía ser

bueno para la salud y a la vez útil como materia prima para la agricultura y la industria”, generando un excelente impacto de re-circularidad complementaria entre la ciudad, la agronomía y la industria.

Hacia el siglo XX se rompe ese círculo de complementariedad para pasar a un crecimiento desenfrenado de “simplemente tomar lo que necesitamos del medio ambiente, lo tiramos, y así una y otra vez”. Convirtiéndose en un gran problema sistémico donde de la explotación del medio ambiente también se dio origen a productos que no son biodegradables y altos contaminantes del planeta.

Con todo esto, un grupo de estudiosos preocupados por los efectos secundarios del mal manejo de los residuos hacia 1968 llega el Movimiento ecologista quienes no hicieron más que presionar a los organismos competentes, para que tomen decisiones pertinentes sobre este asunto.

Entre los años 1969 y 1970, La Ley Nacional de Política Medioambiental entró en vigor en Estados Unidos. Esto marcó el comienzo de los informes y evaluaciones de impacto medioambiental para la construcción de presas, carreteras y para otros proyectos de importancia, y es conocida como la «Carta Magna medioambiental» por su enorme impacto y por haber sentado precedente en la política, a nivel mundial.

En 1972, en la Conferencia de Estocolmo se incorporó el concepto de Desarrollo Sostenible, con la difusión del documento “Nuestro futuro Común”.

En 1989, entra en vigencia la Comisión Mundial del Medio Ambiente y el Desarrollo y el Desarrollo Sostenible es asumido por diversos sectores.

Con el pasar de los años, fueron integrándose más países y líderes que permitieron establecer metas y objetivos basados en puntos críticos en los que el medio ambiente

ha sido afectado por la industrialización, la agricultura y la sociedad consumista.

En 1992, se llevó a cabo la Conferencia sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible en Río de Janeiro (Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, 1992). Donde se llegó a acuerdos como La Carta de la Tierra, Plan de Acción sobre el planeta (Agenda 21), la firma la convención sobre la biodiversidad y la convención sobre cambio climático, y se obtuvo la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, se establecieron los principios relacionados con derechos civiles y obligaciones de los Estados respecto al cuidado del planeta que han sido de gran aporte al Derecho Internacional Ambiental. De este encuentro surgieron compromisos entre los países a incrementar el uso de energías renovables y a respetar las necesidades de los pueblos indígenas, entre otros.

En 1993 se fundó el Consejo de Edificaciones Verdes de Estados Unidos, lo que contribuyó a poner en marcha una revolución en la que los diseños de Ingenieros y arquitectos sean respetuosos con el medio ambiente, poniendo en línea toda la cadena de producción y así cada día es más amplia la oportunidad de que los productos obtenidos de la transformación de desechos tengan esperanza económica sin importar su ubicación tanto como la calidad y el mercadeo del producto mismo, el producto obtenido por la transformación de los residuos de poda de Valledupar es apetecible, inicialmente, en proyectos de eficiencia energética, energías renovables y materiales sostenibles.

En 1996, la Food and Agriculture Organization of United States expidió la Resolución no. 497/96, que tiene el objetivo de normar las actividades de poda y tala de árboles en las zonas urbanas y otros de tipos ornamentales, que se efectuará como parte del

mantenimiento necesario para conservar la salud de los mismos, facilitar el crecimiento armónico de la copa y del sistema radicular, proporcionar su mayor floración, así como para evitar los daños que puedan ocasionar. Esta resolución ha servido como modelo para el diseño dentro de otros países.

En el año 2000, la conciencia medioambiental llegó a unos máximos nunca vistos, impulsados por décadas de campañas educativas y activistas. Los políticos y empresas ya no podían permitirse seguir ignorando el medio ambiente. El PNUD se compromete a poner en marcha el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio, conduciendo a que en los Planes de Desarrollo de cada país se implementen los principios del desarrollo sostenible apalancados en las estrategias y acciones propuestas por sus respectivos gobiernos.

En el 2002, la Cumbre de Desarrollo Sostenible se reunió en Johannesburgo en Sudáfrica, allí se adopta la Declaración de Johannesburgo sobre el Desarrollo Sostenible y el Plan de Aplicación de Johannesburgo que pone en marcha un nuevo movimiento que replantea todos los procesos humanos de fabricación a que estén en concordancia con la naturaleza, incluyendo la idea de acabar con el concepto de residuo y reemplazarla con la de que puede tener un nuevo uso como material para fabricar otra cosa.

En el 2007, el alcalde New York, Michael Bloomberg, presentó PlaNYC un plan global para reducir el impacto de la ciudad de Nueva York sobre el planeta. Con metas ambiciosas para que la ciudad llegara a un nivel de «cero basura» (promoviendo el reciclaje y el compostaje) y apoyaba la eficiencia energética, la plantación de árboles, los espacios verdes y el ciclismo, entre otros. A partir de allí, ha sido modelo para otras ciudades en el mundo entero.

En el 2012, se celebra en Río de Janeiro la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo Río + 20, donde se enfatiza en temas como economía verde, Objetivos del Desarrollo Sostenible y, se retoman los propósitos de Río 1992. En el año 2015, en una reunión en París acordaron un nuevo Plan para limitar las causas del calentamiento global. El acuerdo requiere que los Países minimicen sus emisiones acorde a su nivel de compromiso. Se establecieron los Objetivos de Desarrollo Sostenible, también conocidos como Objetivos Mundiales, se adoptaron por todos los Estados Miembros como un llamado universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad para 2030, como principal organismo de las Naciones Unidas para el desarrollo, el PNUD tiene una posición única para ayudar a implementar los Objetivos a través de nuestro trabajo en unos 170 países y territorios.

De acuerdo a una revisión literaria realizada por Norainiratna Badru para la Conferencia de Calidad de Vida para Amer International en 2016 en Medan Indonesia dice que “la poda es un proceso de eliminación de ramas (u ocasionalmente raíces) de un árbol u otra planta utilizando prácticas aprobadas para lograr un objetivo específico (Fedecacao, 2014). La poda es una parte regular de la rutina de mantenimiento que ayuda a mantener los árboles sanos y atractivos (Meade y Hensley, 1998). El interés en la investigación sobre la poda comienza con el resumen fotográfico de Shigo y Larson (1969) de los patrones de decoloración y descomposición en las maderas duras de EE. UU. Que analiza la decoloración y las heridas en las maderas duras. Luego, la investigación amplía la actividad de investigación moderna principalmente sobre la técnica de poda (Dujesiefsken y Stobbe, 2002) y la respuesta a las heridas (O'Hara,

2007). Basado en una revisión de la literatura sobre la investigación de la poda de Clark y Matheny (2010), los temas principales en la investigación de la poda son la compartimentación, la descomposición y el vendaje de heridas. Sin embargo, se han realizado menos investigaciones sobre el comportamiento humano que puedan afectar la eficacia de los trabajos de poda”, lo cual resume la descripción referente a la actividad de la poda en el idioma universal.

Dicha conferencia estuvo basada en una recopilación de datos, el documento manifiesta que a ese momento hubo años con datos inexistentes, mientras tanto la conferencista se centró en la socialización de una investigación realizada al respecto dejando abierta la discusión que sirvió para dar continuidad a la Poda de Árboles en las diferentes ciudades del mundo.

2.2.2 Nacional

Lo anterior no fue ajeno a Colombia, donde se hizo extensiva la necesidad de cuidar el medio ambiente, y fueron surgiendo organismos de carácter público y privado que tienen como causa el cuidado de la naturaleza y todo lo relacionado con la fauna y la flora. De igual manera, los órganos legislativos han ido creando normas para la protección y cuidado del medio ambiente. Colombia ha estado inmersa en la dinámica general del desarrollo de la historia ambiental en América Latina. Cabe destacar los trabajos pioneros de Germán Palacio y de Alberto Flórez Malagón quienes reunieron varios estudios del medio ambiente colombiano desde una perspectiva histórica y que se han convertido, por tanto, en un primer referente de la historia ambiental colombiana.

Desde la constitución de 1991, se le dio a la protección y defensa del medio ambiente el carácter constitucional, desde allí se le llama Constitución Ecológica o Constitución Verde por el gremio de la jurisprudencia. la constitución de Colombia de 1991 en su artículo 8, 49 y 79 exhorta al deber de proteger, cuidar, gozar de un ambiente sano y tomar decisiones que no la afecten (Ministerio de Medio Ambiente, 2016).

En el artículo 80, capítulo tercero, título II, se encuentran directamente referentes al Medio Ambiente y su conservación: “El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir, y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.” Consecuentemente, a través de los años, las entidades y organizaciones dedicadas a la defensa del medio ambiente en Colombia, guiados por referentes internacionales en el tema, han trabajado en las normatividades que permitan tal fin, algunas relacionadas con la poda urbana serán mencionadas en la siguiente tabla:

Tabla 1. *Normatividad*

Normativa	Finalidad
<p>Decreto 3110 del 22 de octubre de 1954</p>	<p>Por medio del cual durante el gobierno del Teniente General Gustavo Rojas Pinilla, creó la primera Corporación Autónoma Regional en Colombia, que fue la Corporación Autónoma Regional del Valle.</p> <p>Respaldado por el Acto Legislativo número 5 del 27 de agosto de 1954, que autorizó al legislador para crear “establecimientos públicos, dotados de personería jurídica autónoma” para la prestación de servicios públicos, en todo el territorio nacional o parte de él (Presidente de la República 1954).</p>
<p>Ley 99 de 1993</p>	<p>Dispone la creación del Ministerio del Medio Ambiente como organismo rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado, entre otras cosas, de definir las regulaciones a las que se sujetarán la conservación, protección, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables y el medio ambiente de la Nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible.</p>
<p>Decreto 1791 de 1996</p>	<p>Por medio del cual el Ministerio del Medio Ambiente de Colombia decreta el aprovechamiento forestal, establece la necesidad de contar con un salvoconducto de movilización para todos los productos forestales primarios o de la flora silvestre, que entren, salgan o se movilicen en el territorio nacional.</p>

Resolución 438 de 2001	Por la cual el Ministerio del Medio Ambiente, establece el Salvoconducto Único Nacional para la movilización de especímenes de la diversidad biológica.
Decreto 1713 de 2002	Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos.
Resolución 1045 de 2003	Por la cual se adopta la metodología para la elaboración de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, y se toman otras determinaciones.
Decreto 1505 de 2003	Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en relación con los planes de gestión integral de

residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.

Decreto 838 de 2005	Modificó el Decreto 1713 de 2002.
Decreto 2981 de 2013	Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo.
Documento CONPES 3874 de 2016	POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS
Resolución 1196 de 2018	Por el cual se crea el registro de las motosierras en ciertas áreas del territorio nacional afectadas por la deforestación y se toman otras

determinaciones.

Decreto 1390 de 2018 Por el cual se adiciona un capítulo al Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con la tasa compensatoria por aprovechamiento forestal maderable en bosques naturales y se dictan otras disposiciones.

2.3 Marco Municipal

En Valledupar funciona la sede principal de la Corporación Autónoma Regional del Cesar (Corpocesar), la cual fue creada con una duración de existencia indefinida y tiene jurisdicción en todo el departamento del Cesar y organizada conforme a las normas establecidas en el Decreto 3454 de 1983 y los Decretos 1050 y 3130 de 1968.

Para el año 1985, por medio del Decreto 1630 de Junio 14, el Presidente de la República expide este decreto por el cual se aprueban los Estatutos de la Corporación Autónoma Regional del Cesar. La Ley 99 del 22 de diciembre 1993 por la cual se creó el MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organizó el Sistema Nacional Ambiental de Colombia -SINA-, en su artículo 33 modifica la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Cesar -CORPOCESAR- de la siguiente manera: “su jurisdicción comprende el territorio del departamento del Cesar con excepción de las áreas incluidas en la jurisdicción de la Corporación para el Desarrollo Sostenible de la Sierra Nevada de Santa Marta”.

Corpocesar como entidad responsable y en cumplimiento de su misión, para el año 2006, revela una información como resultado de estudios realizados por expertos funcionarios donde se manifiesta que” los árboles de Valledupar presentan un porcentaje alto de problemas fitosanitarios y problemas de ubicación, como por ejemplo: emplazamiento (cubierta las raíces con asfalto), crecimiento abundante de raíces ocasionando deterioro en las estructuras asfálticas (especialmente el Caucho – *Ficus involuta*), árboles inestables (que pueden ocasionar problemas con la caída de ramas en

caso de ventarrones), y árboles comprometiendo estructuras físicas (por ondulamiento de placas, ocasionando grietas), entre otros” (Alcaldía de Valledupar, 2017).

Existe otra entidad al servicio de los habitantes del municipio, que se vé afectada por el desarrollo evolutivo del sector ambiental que se llama Aseo del Norte S.A. E.S.P y por su naturaleza jurídica dispone recursos para hacer evaluación y consideraciones en el impacto ambiental, para el año 2013, da a conocer públicamente el resultado de un inventario forestal que había venido realizando, que reporta la existencia de 68.879 árboles en la ciudad de Valledupar, siendo el 85% de esta cantidad árboles frutales donde el mango (*Mangifera indica*) es la especie más predominante.

Más adelante para el mismo año (2013), el Comité Agropecuario del Cesar hace referencia al inventario anteriormente expuesto y se manifiesta expresando que “de los 70.000 árboles que tiene Valledupar (cantidad aproximada en el mismo documento) se encuentran afectados entre el 25% y 40%, especialmente por comején y hormiga arriera” (plagas de insectos y roedores que forman parte de la problemática ambiental propia de las especies arbóreas).

Para el año 2016, se da un paso arriesgado donde se involucra dentro de las estrategias de desarrollo municipal la responsabilidad ambiental como una de las estrategias establecidas en el Plan de Desarrollo Municipal 2016 - 2019 de la Alcaldía de Valledupar, fue diseñar un Plan para el manejo del Arbolado Urbano. Efectivamente, durante este periodo de tiempo se diseñó el Plan de Manejo del Arbolado Urbano que se convertiría en la primera herramienta para diagnosticar la responsabilidad de la gobernanza y de los habitantes del municipio con relación al estado del arbolado urbano en el municipio de Valledupar, por medio del cual se promovería la concientización de

los ciudadanos y el empoderamiento de un régimen reglamentario municipal. A través de este Plan de Arbolado se buscaría hacer cumplir la responsabilidad civil de los habitantes y dirigentes del municipio, además de la creación de valor en este pilar fundamental del municipio. Dentro de los programas diseñados al interior del Plan de Arbolado se incluyen la conservación, monitoreo, manejo, educación, defensoría y fortalecimiento de la capacidad institucional y técnica para manejar el arbolado urbano sosteniblemente.

En el año 2020 según la base de datos de la empresa ASEO DEL NORTE S.A.

E.S.P. el municipio de Valledupar, , llegó a producir un promedio aproximado de 72 toneladas mensuales de residuos de poda, que son descargados (arrojados como desecho) en las celdas del relleno sanitario LOS CORAZONES, de la empresa ASEOUPAR, ubicado a unos 5 kms del casco urbano municipal. Entre esas toneladas de residuos de la poda de Árboles Urbanos, se encuentran variedades de árboles de Mango (*Mangifera indica*), Caucho (*Ficus soatensis*), Uvita (*Jambos sp.*), entre otras menos abundantes.

2.4 Marco Metodológico

2.4.1 Hipótesis

La actualidad del manejo del residuo de poda urbana en la ciudad de Valledupar es una problemática socioambiental que se le podría llamar para la presente investigación “el estado en cuestión”, pues si bien, el residuo de la poda urbana está siendo recogida y en su parte tratando de ser controlada, o por lo mínimo es la sensación que se percibe al ser retirada de la vista de la comunidad, hoy por hoy no genera ningún tipo de beneficios palpables para la comunidad y mucho menos, ésta práctica puede considerarse sostenible para el desarrollo económico del municipio.

Por tanto, en cuanto en el desarrollo de este proyecto se analizaron los diversos procesos para el aprovechamiento de los residuos de poda del arbolado urbano en las ciudades que sean una propuesta funcional y pertinente como estrategia de solución a “el estado en cuestión” y su aporte al desarrollo sostenible, cuidado del medio ambiente y bienestar social en el municipio de Valledupar.

2.4.2 Diseño de la Investigación

Para lograr cumplir el objetivo explicado en el ítem anterior, se inicia con un proceso de reconocimiento de la situación actual del residuo de poda de la ciudad de Valledupar, que abarca el reclutamiento de la información de cantidades de residuos de poda recogidos por la empresa ASEO DEL NORTE S.A.E.S.P. (Empresa que opera en la actualidad) y la determinación de las afectaciones que se pueden causar como factores

físicos, ambientales, sociales o económicos propias del desarrollo de la actividad.

Seguidamente, se realiza la recopilación de datos y resultados científicos (aquellos obtenidos por otros investigadores que han aplicado procesos y evaluaciones y abren discusiones en el tema de tratamiento de residuos con relación a sus propios planteamientos), referentes a tratamientos con residuos de podas urbanas, que permitan hacer interpretaciones con criterios de valor de cada proceso de transformación en el caso de que sea implementado y puesto en marcha en el municipio de Valledupar.

Este proceso de recopilación de datos y revisión de estudios realizado por otros investigadores, y dicho en el párrafo anterior, se enfoca en cuatro (4) alternativas de aprovechamiento de residuos de poda identificados y cuyo objetivo principal es la transformación del residuo en un producto de valor. Durante cada proceso de transformación, se genera valor agregado a partir del desecho obteniendo un producto final útil a la comunidad y minimizando el impacto ambiental ocasionado, dichas alternativas son:

- Proceso de compostaje aerobio,
- Proceso de compostaje anaerobio,
- Proceso de biodigestión,
- Proceso de elaboración de pellets.

Para cada uno de las alternativas (procesos productivos) mencionados y sobre los cuales se recopiló toda información al alcance, útil y previamente existente con la intención de dar cumplimiento al objetivo propuesto con este trabajo investigativo, partimos del concepto que la conclusión que se genere en esta investigación no se

constituye, para la comunidad o quien pretenda usarlo, como una novedad sino como profundización en el tema “Procesos para Tratamiento de Residuos de Poda en el municipio de Valledupar” desde una perspectiva enriquecedora, complementaria y eficaz.

En la mencionada recopilación de datos y revisión de bibliografía y estudios, como parte del proceso metodológico de la presente investigación, se han tomado en consideración resultados de transformación de residuo de poda en abonos orgánicos (compost), pellets utilizables (como materia prima en otros procesos) y obtención de biogás (útil para generación de energía).

La información obtenida durante el trabajo investigativo, que según el tiempo de ocurrencia puede ser útil de modo retrospectivo y prospectivo (eventos del pasado pueden ser usados para evaluar casos en el futuro), según el período y secuencia pueden ser transversales y longitudinales y según el análisis y alcance de los resultados serían descriptivos, analíticos, experimentales o de intervención, serán utilizada para evaluar el caso hipotético (punto de partida desde el cual desarrollamos el simulacro de juicio profundizando el estudio realizado en este trabajo) de que cada proceso sea instalado y puesto en marcha en las condiciones existentes del municipio de Valledupar.

Con toda la información recopilada y los procesos en estudio definidos, se procede a evaluar la posibilidad de existencia de los puntos críticos de impacto ambiental para cada proceso y el aporte al desarrollo sostenible del municipio de Valledupar, a partir del análisis de datos de los procesos propuestos en el caso hipotético de haberlos puesto en funcionamiento. Para finalizar esta etapa de la investigación, evaluamos el aporte en el desarrollo sostenible del municipio, de forma tal que se obtenga una información

amplia y suficiente que permita tomar decisiones sólidas y eficaces a los habitantes de sus comunidades.

Se definirá el análisis de alternativas mediante, la identificación de alternativas, definiendo criterios, aplicando filtros y definición de estrategias optimas.

El presente proyecto se basa en la investigación sobre el tratamiento adecuado para el residuo de poda urbana en el municipio de Valledupar, utilizando dos tipos de muestreos de datos:

Muestreo De Datos Con El Método Estadístico Inferencial. El cual permite inducir a partir de información obtenida en un muestreo realizado en una población anterior, analizar y diagnosticar el posible comportamiento futuro de una nueva población determinada.

Muestreo De Datos Con El Método Estadístico Descriptivo. El cual a través de cálculos y gráficas se logra realizar descripciones y análisis de datos agrupados con el fin de detectar patrones como variables o resumiendo datos.

Durante el desarrollo de la presente investigación, para relacionar los resultados numéricos con la estructura teórica que la integra, se utilizaron los siguientes métodos:

Método Teórico. Se utilizó para determinar las relaciones esenciales del objeto de investigación no observables directamente, permitiendo la interpretación conceptual de datos empíricos encontrados, la construcción y el desarrollo de teorías, creando las condiciones para la caracterización de los fenómenos.

Método Inductivo. Es un tipo de razonamiento en el cual utilizamos la inducción para utilizar la premisa particular y generalizarse de manera amplia utilizando observaciones específicas.

Método Deductivo. Método de razonamiento contrario a la Inducción en el cual consiste de ir de lo general a lo particular, de las observaciones generales a las particulares.

Método Dialéctico. Se utiliza para investigar los datos y procesos por medio de la crítica a la percepción y teorías, comparando entre tesis y antítesis resolviendo la contradicción a través de la formulación de una conclusión satisfactoria.

Análisis Histórico. Es una metodología que supe a las observaciones por el cual probamos la veracidad de los casos hipotéticos planteados comparándolos con los casos predecesores. **Análisis Lógico.** Es una metodología que funciona como el estudio de un proceso y obtener soluciones a partir de suposiciones o hechos.

Análisis y Síntesis. La cual está definida como “Los conceptos de análisis y síntesis se refieren a dos actividades complementarias en el estudio de realidades complejas. El análisis consiste en la separación de las partes de esas realidades hasta llegar a conocer sus elementos fundamentales y las relaciones que existen entre ellos” (según innovacioneducativa.upm.es/competencias-genericas/formacion-evaluacion/ análisis-síntesis).

Método Hipotético Deductivo. Es un modelo de razonamiento en el cual utilizamos un ciclo de induccion-deducccion-induccion para establecer hipótesis, refutarlas, comprobarlas, sustentarlas y cambiarlas para llegar a un resultado deseado.

Para el desarrollo del análisis de la investigación, se utiliza el Software OPEN LCA que permite realizar un análisis del ciclo de vida y el resultado de la medición de la huella de carbono de los procesos que se han escogido. Gracias a las características de diseño

del Software y los resultados que puede otorgar permite agilizar en el análisis e interpretación de impactos ambientales a través de la recolección y compilación del producto, etapas de producción, consumo y salidas de producto en proceso y terminado.

OPEN LCA (Open source Life Cycle Assessment software) es un software libre, gratuito y de multiplataforma para realizar completos análisis de ciclo de vida; modificables y adaptable a las necesidades requeridas del estudio. Está orientado al LCA, pero también permite realizar la medición de huella de carbono e hídrica y dispone de una amplia gama de base de datos. (Ramírez, 2017).

Información muy detallada sobre los resultados de los cálculos y análisis; identificar los principales impulsores a lo largo del ciclo de vida, por proceso, flujo o categoría de impacto, visualizar los resultados y ubicarlos en un mapa

Las mejores capacidades de importación y exportación de su clase; fácil de compartir tus modelos

El costeo del ciclo de vida y la evaluación social se integran sin problemas en el modelo del ciclo de vida

Fácil de usar; interfaz de usuario en una variedad de idiomas;

función de repositorio y colaboración avanzada y eficiente (actualmente desarrollada)

Mejora continua e implementación de nuevas funciones.

Por último, para la etapa de Análisis de Datos se recurrió a la utilización de las herramientas Office, principalmente a la herramienta de Microsoft Excel la cual nos permitió realizar operaciones matemáticas y estadísticas como balances de masa,

conversiones de unidades, diseño de gráficas, que son útiles para trasladar la información hallada, el proceso de tratamiento de la información, el análisis e interpretación y el resultado obtenido a un mismo idioma (considerado universal dentro de la investigación) y expresar con amplitud, facilidad y una eficaz representación visual (valores, símbolos, barras, figuras geométricas y sectores) el hallazgo de la investigación

3. Análisis De Datos

Para realizar el diagnóstico del actual tratamiento de residuos de poda urbana en el municipio de Valledupar, se realizó una investigación de las cantidades de residuos de poda urbana recogidas por la empresa ASEO DEL NORTE S.A. E.S.P. durante el año 2020 en la ciudad de Valledupar las cuales reposan en algunos reportes de producción internos de la empresa y están detallados en la Tabla 2.

Tabla 2. *Residuos de poda urbana de árboles en Valledupar*

MES	CANTIDA D	UNIDA D
ENERO	75.75	Ton
FEBRERO	47.67	Ton
MARZO	72.48	Estima do
ABRIL	72.48	Estima do
MAYO	72.48	Estima do
JUNIO	74.62	Ton
JULIO	91.35	Ton
AGOSTO	48.21	Ton
SEPTIEMBRE	70.7	Ton
OCTUBRE	57.97	Ton

NOVIEMBRE	109.13	Ton
-----------	--------	-----

DICIEMBRE	76.94	Ton
-----------	-------	-----

TOTAL	869.78	Ton
PROMEDIO POR MES	72.48	Ton
PROMEDIO POR DÍA	2.42	Ton

Nota. Elaboración propia del autor, para los meses mayo, abril y marzo no se encontraron evidenciados y el autor de la presente investigación recurre a operaciones estadísticas asociadas a procesos investigativos que no alteran o modifican el resultado general.

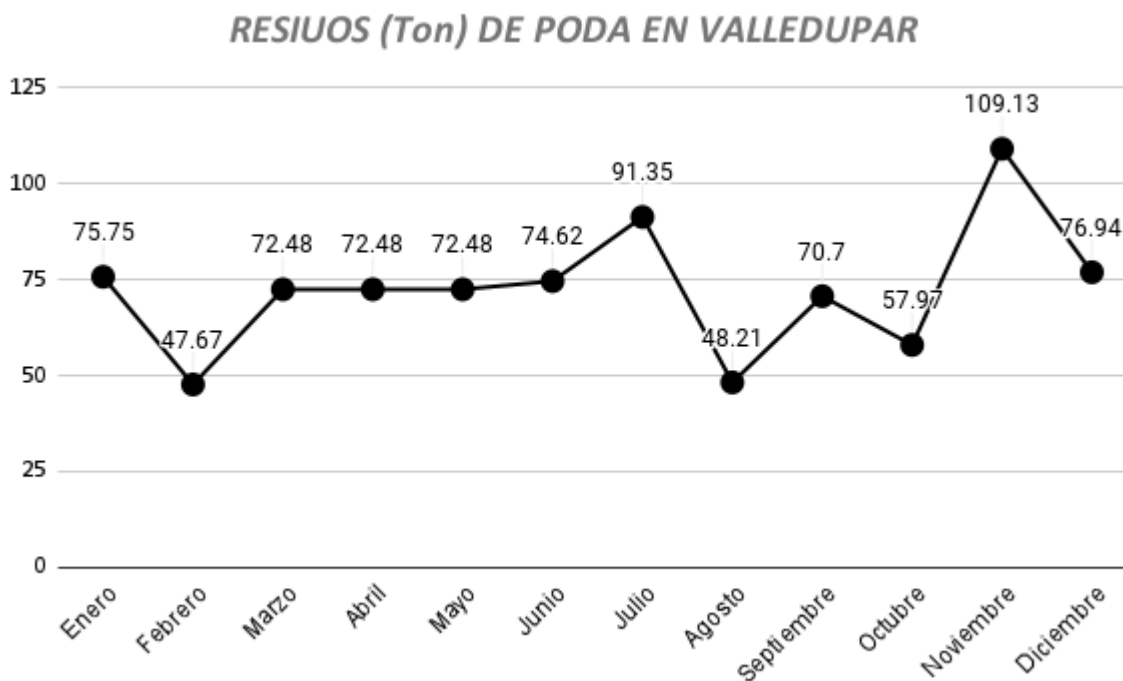


Figura 2. Elaboración con datos propios del Comportamiento de los Residuos de Poda Urbana recogidos por la empresa ASEO DEL NORTE S.A. E.S.P. en el municipio de Valledupar durante el año 2020.

La información obtenida del año del 2020, permite calcular la media estadística de los datos y obtener el promedio de toneladas de residuo de poda urbana, que se denomina para este análisis “cantidad de material inicial” refiriéndose a la cantidad de residuo de poda inicial y será utilizado en el cálculo de los inputs de cada proceso de transformación

en estudio, el promedio calculado es 72,48 Toneladas/mes.

El proceso de recogida de residuos de poda por parte de la empresa ASEO DEL NORTE S.A. E.S.P. se realiza en camiones que cuentan con una logística de recolección organizada para hacerlo 3 días/semana distribuyendo la ciudad en varios sectores (no se asiste un mismo sector de la ciudad todos los días de la semana), dando como resultado que la empresa ASEO DEL NORTE S.A. E.S.P. envía su camión recolector 12 veces al mes por cada sector de la ciudad. Teniendo en cuenta el promedio total calculado de toneladas/mes, se estiman 6,04 toneladas/recogida del camión que es el promedio calculado que facilita diseñar diagramas de proceso de transformación ajustados a una carga de trabajo inicial operativa.

Los residuos de poda del arbolado urbano del municipio de Valledupar, en la actualidad están siendo transportados por los camiones de ASEO DEL NORTE S.A.

E.S.P. hasta el relleno sanitario Los Corazones que está ubicado a 7 kms fuera del casco urbano del municipio, dicho relleno sanitario cuenta con una capacidad máxima aproximada de 2.800.000 ton, según información suministrada por Aseo del Norte S.A. E.S.P., y está distribuido en celdas que funciona dentro un límite o una cota máxima de apilamiento (delimitaciones de forma visible del terreno para indicar que está reservado para un uso y aprovechamiento), al momento de llegar a dicha medida se procede a la apertura del uso de otra celda y así sucesivamente.

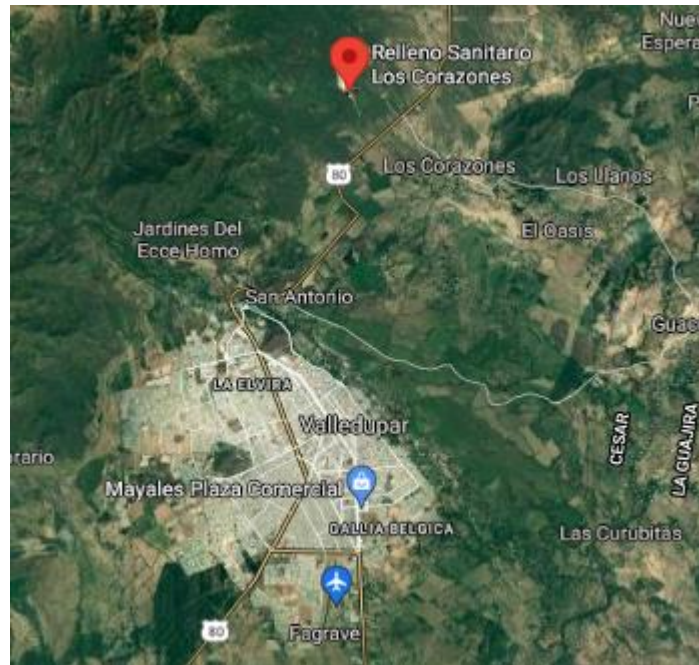


Figura 3. Foto aérea de la ubicación del relleno sanitario Los corazones tomada de Google Earth.

Con referencia en manuales y otro tipo de soportes relacionados con plantas de procesamiento de residuos de poda de árboles, se documentan los siguientes diagramas de flujo ajustados a las condiciones técnicas del municipio de Valledupar, como se observa en las imágenes xx. Nn, y mm:

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE COMPOSTA AEROBIA

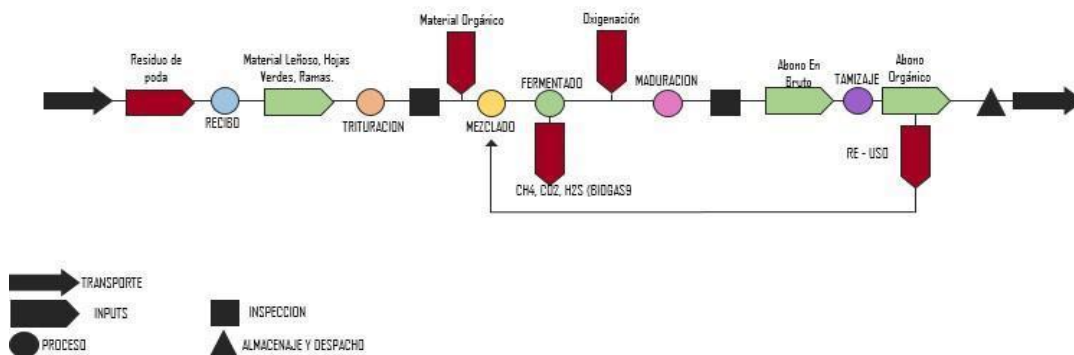


Figura 4. Diagrama de flujo de una planta de procesamiento de residuos de poda de árboles en Compostaje mediante un proceso aerobio, diseñada para un montaje en la ciudad de Valledupar.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE PELLET

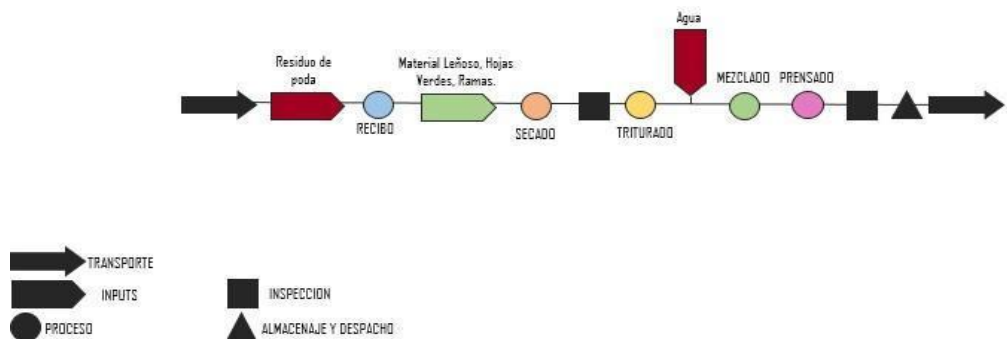


Figura 5. Diagrama de flujo de una planta de procesamiento de residuos de poda de árboles en pellets, diseñada para un montaje en la ciudad de Valledupar teniendo en cuenta investigaciones bibliográficas en el tema.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE BIO DIGESTION

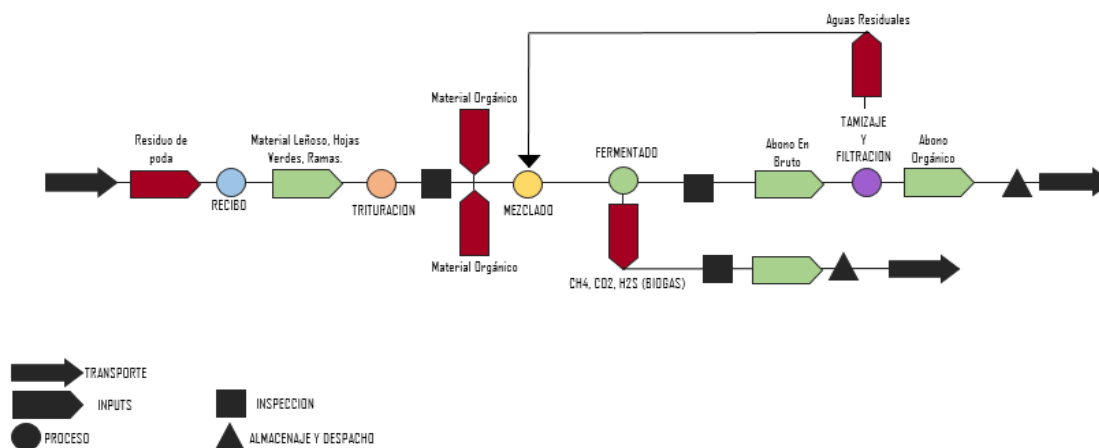


Figura 6. Diagrama de flujo de una planta de procesamiento de residuos de poda de árboles en Biogás mediante un proceso de biodigestión, diseñada para un montaje en la ciudad de Valledupar teniendo en cuenta investigaciones bibliográficas en el tema.

Se utiliza un diseño de entrada y salida de datos para cada uno de los procesos tomando en cuenta los datos y variables, utilizando el método de análisis histórico, el método de análisis lógico y el método dialéctico para determinar a partir de procesos documentados en estudios anteriores las variables que se ajustan a nuestro diseño de proceso si estuviera en funcionamiento en Valledupar, y de este modo evaluar la emisión de la huella de Carbono y el ciclo de vida de cada proceso utilizando el programa OPEN LCA.

A continuación, se evidencian por medio de tablas y gráficos, el impacto ambiental calculado a lo largo del análisis del ciclo de vida de cada uno de los procesos de transformación evaluados y los resultados obtenidos a través del uso del software:

3.1 Proceso De Compostaje Aerobio.

El proceso de compostaje aerobio, está diseñado para tomar el residuo de poda de

árboles urbanos y mezclarlo con una semilla activadora (generada desde material orgánico como cáscaras de naranjas, mangos, y otras frutas), que a una temperatura de 35°C promedio en estado de reposo, y que al final de 14 días de fermentación controlada se obtiene Abono Orgánico como producto terminado, gracias a que dicha semilla cumple la función de aportar a la mejora de la fertilidad del suelo. A continuación se detalla el proceso de acuerdo al diagrama de flujo (Figura 4):

Paso 2: Trituración. El residuo de poda de arbolado urbano inicia el proceso operativo de trituración por el cual se disminuye el tamaño y homogeniza el tamaño de los trozos, para facilitar los siguientes pasos del proceso de transformación.

Una trituradora referencia HDWV 700-2000 (Marca Haas) para triturar 50T(Toneladas) utiliza 340 CV(caballos de vapor)

con eso deducimos que 6,04 ton utiliza 41.07CV,

$6,04 \text{ T} = 30,625\text{J/s,}$

$6,04 \text{ T/h} = 116,253,236\text{J/H,}$

con todo esto calculamos que 6,04 toneladas/h utiliza 110.26 MegaJulios/h.

Para el promedio calculado de 6,04 toneladas/recogida del camión, un (1) litro de gasolina equivale a 34,78 MJ (MegaJulios), para una trituradora necesitaremos 79946,12 Newtons (fuerza) que equivale a 3,17 litros de combustible para abastecer la máquina de trituración (ver tabla 3), que genera una liberación de gases como son el Dióxido de Carbono y el Dióxido de azufre (ver tabla 4), el impacto ambiental ocasionado por el proceso según el OPENLCA (ver tabla 5),

Tabla 3. Entradas del proceso de trituración

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Monto
Energía, proveniente del petróleo	Flujos elementales / Recurso / no especificado	Energía	MJ	2085.26
Residuo de poda	Flujos elementales	Masa	kg	6040

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA Nota. Tabla de datos encontrados en investigación de publicaciones históricas y calculados con relación a la cantidad estimada en el caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Tabla 4. Salidas del proceso de trituración

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Monto
Dióxido de carbono	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	521,315
Monóxido de carbono del aire	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	521,315
Oxido de nitrógeno	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	521,315
Residuo de Poda Triturado		Masa	kg	6040
Dióxido de azufre	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	521,315

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA Nota. Tabla de elementos encontrados en investigación de publicaciones históricas, ingresadas el software, el cual con los inputs ingresados en el paso anterior, calcula las cantidades de emisión de contaminantes causadas por el proceso en el caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Tabla 5. *Impacto ambiental*

Name	Category	Amount	Result
acidification potential - average Europe			886.23550 kg SO2 eq
Climate Change - GWP100			1511.81350 kg SO2 eq
Depletion of abiotic resources - element, ultimate reserves			0.00000 kg antimony eq
Depletion of abiotic resources - fossil fuels			0.00000 MJ
Eutrophication - generic			67.77095 kg PO4---eq
Freshwater aquatic ecotoxicity - FAETP inf			0.000000 kg 1,4-dichlorobenzene eq
Human toxicity - HTP inf			675.62424 kg 1,4-dichlorobenzene eq
Marine aquatic ecotoxicity - MAETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq
Ozone layer depletion - ODP steady state			0.00000 kg CFC-11 eq
Photochemical oxidation - high Nox			39.09863 kg ethylene eq
Terrestrial ecotoxicity - TETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA Nota. Tabla calculada por el software de elementos contaminantes para el medio ambiente a partir del caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Paso 3: Mezclado. Se procede a mezclar el material triturado con una semilla activadora que en este caso sería material orgánico compuesto por cáscaras de mango y otros desechos de frutos, se debe realizar este proceso en un ambiente donde tenga contacto con el aire para que el material orgánico empiece su proceso de degradación y activación y se empiece a notar un cambio, en este caso la cantidad de material orgánico debe ser $\frac{1}{3}$ del total de residuo de poda triturado.

En este proceso también se liberan gases provenientes de la gasolina utilizada como generador de energía para la pala de mezclado.

Balance de masa en el proceso:

$$6,04 \text{ ton de material} + \frac{1}{3} (6,04) \text{ ton de material} = 8,053 \text{ ton}$$

mezclado triturado seco orgánico

Tabla 6. Entradas del proceso de mezclado

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Monto
Aire	Flujos elementales / Recurso / en el aire	Masa	kg	3020
Energía, proveniente del petróleo	Flujos elementales / Recurso / no especificado	Energía	MJ	2085,26
Materia orgánica policíclica, especificada	Caudales elementales / Emisión al aire / sin especificar	Masa	kg	2013,33
Residuo de Poda Triturado		Masa	kg	6040

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Tabla de datos encontrados en investigación de publicaciones históricas y calculados con relación a la cantidad estimada en el caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Tabla 7. Salidas del proceso de mezclado

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Monto
Dióxido de carbono	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	521,315

Monóxido de carbono del aire	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	521,315
Mezclado de Triturado con Materia Orgánica		Masa	kg	8053,33
Óxido de nitrógeno	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	521,315
Dióxido de azufre	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	521,315

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Tabla de elementos encontrados en investigación de publicaciones históricas, ingresadas al software, el cual con los inputs ingresados en el paso anterior, calcula las cantidades de emisión de contaminantes causados por el proceso en el caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Name	Category	Amount	Result
acidification potential - average Europe			886.23550 kg SO2 eq
Climate Change - GWP100			1511.81350 kg SO2 eq
Depletion of abiotic resources - element, ultimate reserves			0.00000 kg antimony eq
Depletion of abiotic resources - fossil fuels			0.00000 MJ
Eutrophication - generic			67.77095 kg PO4---eq
Freshwater aquatic ecotoxicity - FAETP inf			0.000000 kg 1,4-dichlorobenzene eq
Human toxicity - HTP inf			675.62424 kg 1,4-dichlorobenzene eq
Marine aquatic ecotoxicity - MAETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq
Ozone layer depletion - ODP steady state			0.00000 kg CFC-11 eq
Photochemical oxidation - high Nox			39.09863 kg ethylene eq
Terrestrial ecotoxicity - TETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq

Figura 7. Impacto ambiental del mezclado

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA Nota. Tabla calculada por el software de elementos contaminantes para el medio ambiente a partir del caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Paso 4: Fermentación. Se inicia el proceso de semi-descomposición o degradación de los recursos, por medio de poblaciones de microorganismos y bacterias termofílicas que existen en los residuos y el material orgánico. Asociados a las siguientes condiciones específicas para obtener una buena fermentación y maduración en las condiciones

técnicas y ambientales de Valledupar:

Humedad: 50%, Temperatura ambiente. 35°C, Tiempo: 13 a 16 días.

Según la investigación de estudios anteriores, esta etapa del proceso es la que genera más cantidad de gases y líquidos nocivos (comparando con las otras etapas) como amoníaco en estado líquido y el metano en estado gaseoso.

Tabla 8. Entradas del proceso de mezclado

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Monto
Aire	Flujos elementales / Recurso / en el aire	Masa	kg	4025
Energía, proveniente del petróleo	Flujos elementales / Recurso / no especificado	Energía	MJ	2779,44
Mezclado de Triturado con Materia Orgánica		Masa	kg	8053,33
Agua	Flujos elementales / Recurso / en agua	Masa	kg	4025

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Tabla de datos encontrados en investigación de publicaciones históricas y calculados con relación a la cantidad estimada en el caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Tabla 9. Salidas del proceso de fermentación

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Monto
Gases ácidos, no especificados	Caudales elementales / Emisión al aire / sin especificar	Masa	kg	684,25

Aire	Flujos elementales / Recurso / en el aire	Masa	kg	804
Amoníaco	Caudales elementales / Emisión al suelo / agrícola	Masa	kg	684,25
Amonio / amonia, como N	Caudales elementales / Emisión al agua / agua dulce	Masa	kg	684,25
Dióxido de carbono	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	694,86
Monóxido de carbono del aire	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	694,86
Monóxido de carbono del aire	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	450
Metano	Caudales elementales / Emisión al aire / sin especificar	Masa	kg	2814
Oxido de nitrógeno	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	694,86
Poda Fermentada		Masa	kg	10466
Agua secundaria	Caudales elementales / Residuos / sin especificar	Masa	kg	1288
Dióxido de azufre	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	694,86

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Tabla de elementos encontrados en investigación de publicaciones históricas, ingresadas al software, el cual, con los inputs ingresados en el paso anterior, calcula las cantidades de emisión de contaminantes causadas por el proceso en el caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Name	Category	Amount	Result
acidification potential - average Europe			1181.26200 kg SO2 eq
Climate Change - GWP100			7.18999E4 kg SO2 eq
Depletion of abiotic resources - element, ultimate reserves			0.00000 kg antimony eq
Depletion of abiotic resources - fossil fuels			0.00000 MJ
Eutrophication - generic			329.81930 kg PO4---eq
Freshwater aquatic ecotoxicity - FAETP inf			0.000000 kg 1,4-dichlorobenzene eq
Human toxicity - HTP inf			900.53856 kg 1,4-dichlorobenzene eq
Marine aquatic ecotoxicity - MAETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq
Ozone layer depletion - ODP steady state			0.00000 kg CFC-11 eq
Photochemical oxidation - high Nox			62.38728 kg ethylene eq
Terrestrial ecotoxicity - TETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq

Figura 8. Impacto ambiental de fermentación

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Tabla calculada por el software de elementos contaminantes para el medio ambiente a partir del caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar

.Paso 5: Maduración. Después de la etapa de fermentación y haber liberado el exceso de humedad empieza un proceso de maduración en el que la temperatura empieza a disminuir, así como la actividad de las bacterias. Ahora es el turno de los microorganismos capaces de degradar la materia de descomposición muy lenta para colonizar la pila de residuos.

Durante este proceso no habrá intervención de maquinaria y se estima que se libera el 90% del líquido que posee, que por su calidad aún puede ser reutilizado para procesos anteriores o para nuevos procesos donde se requiere.

Tabla 10. Entradas del proceso maduración

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Monto
Aire	Flujos elementales / Recurso / en el aire	Masa	kg	10466
Poda Fermentada		Masa	kg	10466

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA Nota. Tabla de datos encontrados en investigación de

publicaciones históricas y calculados con relación a la cantidad estimada en el caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Tabla 11. *Salidas del proceso de trituración*

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Monto
Abono En Bruto		Masa	kg	8053,33
Agua secundaria	Caudales elementales / Residuos / sin especificar	Masa	kg	4025

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Tabla de elementos encontrados en investigación de publicaciones históricas, ingresadas el software, el cual, con los inputs ingresados en el paso anterior, calcula las cantidades de emisión de contaminantes causadas por el proceso en el caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar

Name	Category	Amount	Result
acidification potential - average Europe			0.00000 kg SO2 eq
Climate Change - GWP100			0.00000 kg SO2 eq
Depletion of abiotic resources - element, ultimate reserves			0.00000 kg antimony eq
Depletion of abiotic resources - fossil fuels			0.00000 MJ
Eutrophication - generic			0.00000 kg PO4---eq
Freshwater aquatic ecotoxicity - FAETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq
Human toxicity - HTP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq
Marine aquatic ecotoxicity - MAETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq
Ozone layer depletion - ODP steady state			0.00000 kg CFC-11 eq
Photochemical oxidation - high Nox			0.00000- kg ethylene eq
Terrestrial ecotoxicity - TETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq

Figura 9. Impacto ambiental del proceso de maduración

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Tabla calculada por el software de elementos contaminantes para el medio ambiente a partir del caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Paso 6: Tamizaje Y Re-uso. Para garantizar la calidad del producto terminado se realiza un de tamizaje, proceso mediante el cual se pretende homogeneizar la mezcla y favorecer la uniformidad de la temperatura en todas las zonas de la pila, de forma

mecánica, normalmente por acción de zarandeo, esto es necesario para poder tener un compost maduro con la calidad necesaria para ser utilizado como abono orgánico.

Se estima que de un 50% del producto final se lleva a Re-Usos que es la cantidad de material que no pudo completar su proceso y debe volver al proceso del mezclado para que pueda cumplir las condiciones para ser una composta con condiciones óptimas.

Se utilizaron valores de 50%, puesto que no es una estadística posible para determinar ya que no hay un estudio que respalde y defina un valor exacto a la variable.

Tabla 12. Entradas del tamizaje y reuso

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Monto
Abono En Bruto		Masa	kg	8053,33
Energía, proveniente del petróleo	Flujos elementales / Recurso / no especificado	Energía	MJ	2794,46

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Tabla de datos encontrados en investigación de publicaciones históricas y calculados con relación a la cantidad estimada en el caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Tabla 13. Salidas del tamizaje y reuso

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Monto
	Salidas del tamizaje y reuso			
Abono Homogéneo		Masa	kg	4026,66

Dióxido de carbono	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	698,615
Monóxido de carbono del aire	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	698,615
Óxido de nitrógeno	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	698,615
Dióxido de azufre	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Mas	kg	698,615

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Tabla de elementos encontrados en investigación de publicaciones históricas, ingresadas el software, el cual, con los inputs ingresados en el paso anterior, calcula las cantidades de emisión de contaminantes causadas por el proceso en el caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Name	Category	Amount	Result
acidification potential - average Europe			1187:64550 kg SO2 eq
Climate Change - GWP100			2025:98350 kg SO2 eq
Depletion of abiotic resources - element, ultimate reserves			0.00000 kg antimony eq
Depletion of abiotic resources - fossil fuels			0.00000 MJ
Eutrophication - generic			90.81995 kg PO4---eq
Freshwater aquatic ecotoxicity - FAETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq
Human toxicity - HTP inf			905.40504 kg 1,4-dichlorobenzene eq
Marine aquatic ecotoxicity - MAETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq
Ozone layer depletion - ODP steady state			0.00000 kg CFC-11 eq
Photochemical oxidation - high Nox			52.39612 kg ethylene eq
Terrestrial ecotoxicity - TETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq

Figura 10. Impacto ambiental del proceso de tamizaje y reuso

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Tabla calculada por el software de elementos contaminantes para el medio ambiente a partir del caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Paso 7: Almacenaje Y Despacho. Utilizando un mecanismo de carga y transporte se traslada y almacena nuestra composta en una bodega de almacenamiento donde se empaca y despacha para ser vendida, este proceso no afectará el diagrama de flujo del proceso de transformación del residuo de poda en un producto de valor.

3.2 Resultados De Compostaje Aerobio

El software de OpenLCA creamos un nuevo proceso para calcular la suma de los demás procesos y analizar su impacto tanto individual como su influencia en el proceso final, no se tiene en cuenta la variable de re-uso debido a que no afecta la calidad del producto y la cantidad entra en el cálculo del input de la etapa del proceso donde regresa al proceso de transformación.

Es importante seleccionar el proveedor de la entrada de cada proceso (suma de todos los inputs) que permita calcular los procesos anteriores.

Tabla 14. *Resultados de compostaje aerobio*

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Monto
Abono En Bruto		Masa	kg	8053,33
Abono Homogéneo		Masa	kg	4026,66
Mezclado de Triturado con Materia Orgánica		Masa	kg	8053,33
Poda Fermentada		Masa	kg	10466
Residuo de Poda Triturado		Masa	kg	6040

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. La tabla de datos generada con los datos de los resultados de la sumatoria de outputs de todos los procesos.

Tabla 15. Resultado del producto final

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Monto
Compos t		Masa	kg	4026,66

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Es una tabla de resultados arrojado con la cantidad final del producto obtenido.

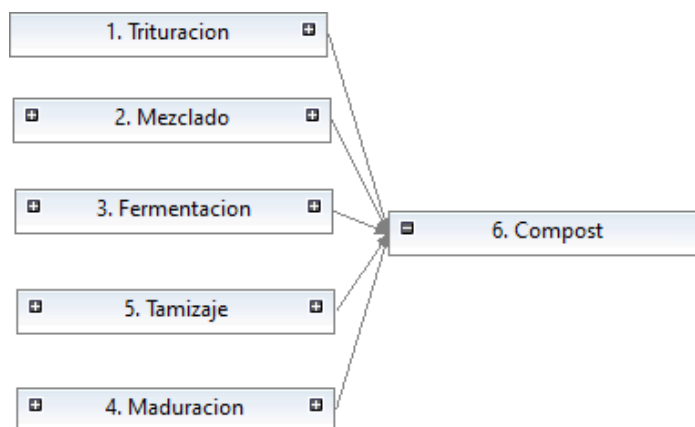


Figura 11. Modelo según ReCiPe 2008 del Proceso de Producción de Compost. Es la representación gráfica de los inputs y los outputs por etapas del proceso para obtener el producto final.

Al momento de calcular obtendremos la representación gráfica de los resultados de los cálculos realizados por el Software OPENLCA en las categorías disponibles:

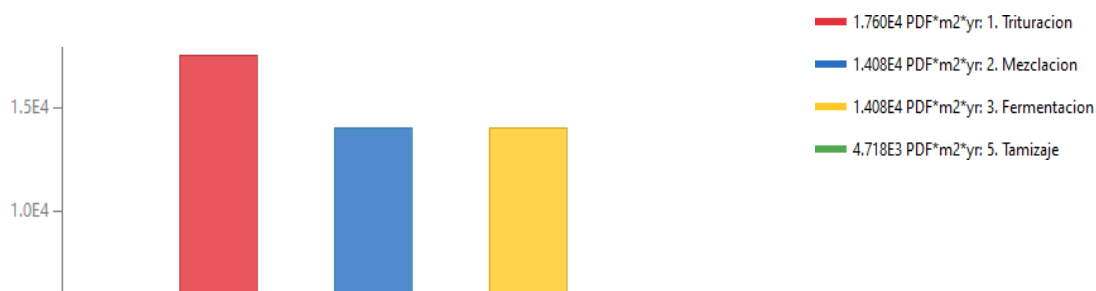


Figura 12. Representación gráfica que se genera en la categoría de Acidificación y Eutrofización, y donde se evidencia que las etapas del proceso con mayor impacto al medio ambiente son trituración y fermentación.

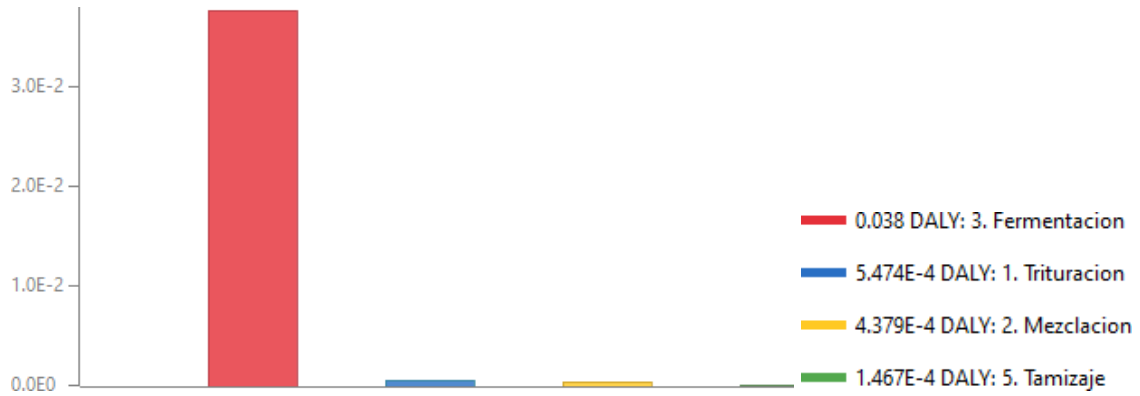


Figura 13. Representación gráfica que se genera en la categoría de impacto en el ecosistema y donde se evidencia que las etapas del proceso con impacto contundente al medio ambiente es trituration.

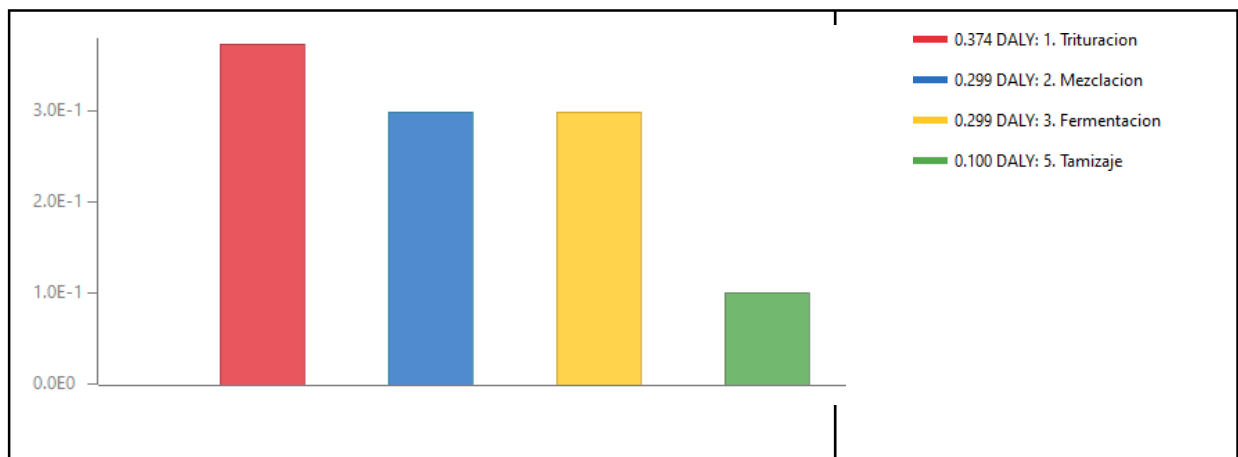


Figura 14. Representación gráfica que se genera en la categoría de Cambio Climático, donde se

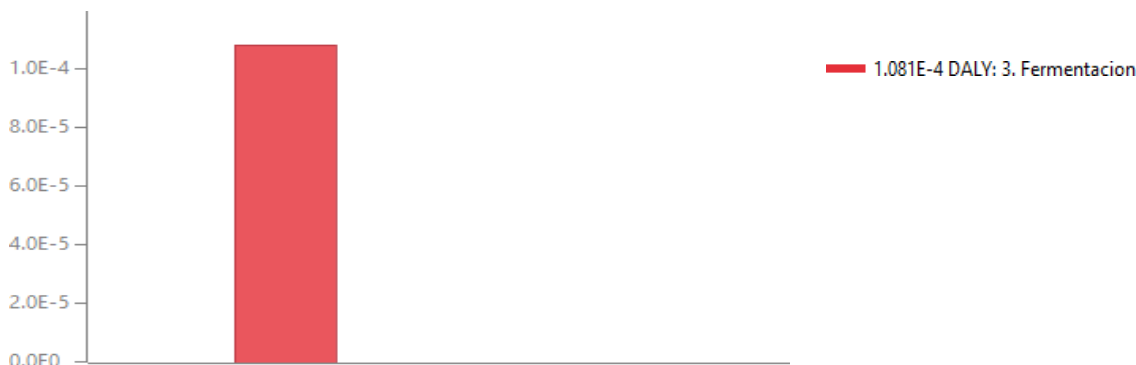


Figura 15. Representación gráfica que se genera en la categoría de impacto respiratorio por material inorgánico y donde se evidencia que las etapas del proceso más dominante al impacto respiratorio por material orgánico es trituración

Otra de las opciones, que el Software OPEN LCA ofrece es el análisis del impacto que tiene la suma de todos los procesos en el ecosistema. Lo que nos permite obtener los resultados que nos ayuden a tomar una decisión correcta del impacto final de los procesos analizados.

Name	Cat...	Inve...	Imp...	Impact result	Unit
> Ecosystem Quality - Land conversion				0.00000	PDF*m2
> Ecosystems-total				5.04864E4	PDF*m2*yr
> Resources - fossil fuels				0.00000	MJ surplus energy
> Human Health - Carcinogenics				0.00000	DALY
> Human Health - Respiratory effects caused by organic substances				0.00011	DALY
> Ecosystem Quality - Land occupation				0.00000	PDF*m2*yr
> Ecosystems Quality - Acidification and Eutrophication				5.04864E4	PDF*m2*yr
> Human Health - Respiratory effects caused by inorganic substances				1.07117	DALY
> Resources - minerals				0.00000	MJ surplus energy
> Human Health - Climate change				0.03871	DALY
> Ecosystems Quality - Ecotoxicity				0.00000	PDF*m2*yr
> Human health - Ionising radiation				0.00000	DALY
> Human Health-total				1.10997	DALY
> Resources-total				0.00000	MJ surplus energy
> Human health - Ozone layer depletion				0.00000	DALY

Figura 16. Resultados de impacto ambiental en la suma de los procesos Nota. Tabla de datos emitida por el Software OPEN LCA.

En síntesis, la realización de pellet es utilizar los residuos de poda y triturarlos para que se conviertan en aserrín, viruta, paja o cáscaras de frutos de menor tamaño, y esto introducirlo a una máquina llamada “peletizadora” que se encarga de mezclar y prensar

el material y hacerlo pasar por orificios de un tamaño considerables, y con el propio calor que produce el prensado y la pectina que tiene la madera se consigue el aglutinado. El material a peletizar tiene que estar alrededor del 20% de humedad y cuando estén hechos los pellets hay que ponerlos a secar hasta que esté por debajo del 10% de humedad.

Paso 1: Transporte Y Secado. El residuo de poda del arbolado urbano se lleva a un primer proceso operativo que sería el secado.<

Tabla 16. *Entradas del proceso de secado para pellets*

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Monto
Residuo de poda	Flujos elementales	Masa	kg	6040

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Tabla de datos encontrados en investigación de publicaciones históricas y calculados con relación a la cantidad estimada en el caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Tabla 17. *Salidas del secado para pellets*

Fujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Monto
Residuo de poda Seco		Masa	kg	6040

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Tabla de elementos encontrados en investigación de publicaciones históricas, ingresadas el software, el cual, con los inputs ingresados en el paso anterior, calcula las cantidades de emisión de contaminantes causadas por el proceso en el caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Name	Category	Amount	Result
acidification potential - average Europe			0.00000 kg SO2 eq
Climate Change - GWP100			0.00000 kg SO2 eq
Depletion of abiotic resources - element, ultimate reserves			0.00000 kg antimony eq
Depletion of abiotic resources - fossil fuels			0.00000 MJ
Eutrophication - generic			0.00000 kg PO4---eq
Freshwater aquatic ecotoxicity - FAETP inf			0.000000 kg 1,4-dichlorobenzene eq
Human toxicity - HTP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq
Marine aquatic ecotoxicity - MAETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq
Ozone layer depletion - ODP steady state			0.00000 kg CFC-11 eq
Photochemical oxidation - high Nox			0.00000 kg ethylene eq
Terrestrial ecotoxicity - TETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq

Figura 17. Impacto ambiental del secado

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA Nota. Tabla calculada por el software de elementos contaminantes para el medio ambiente a partir del caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Paso 2: Triturar. El residuo de poda del arbolado urbano seco, sigue a proceso de triturarlo hasta que se convierta en viruta o aserrín.

Tabla 18. Entradas de trituración para pellets

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Monto
Energía, proveniente del petróleo Residuo de poda Seco	Flujos elementales / Recurso / no especificado	Energía	MJ	2085,26
		Massa	kg	6040

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Tabla de datos encontrados en investigación de publicaciones históricas y calculados con relación a la cantidad estimada en el caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Tabla 19. Salidas trituración para pellets

Flujo	Categoría	Flujo de propiedad	Unidad	Monto
Dióxido de carbono	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	521,315

Monóxido de carbono del aire	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	521,315
Óxido de nitrógeno	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	521,315
residuo de poda seco triturado		Masa	kg	6040
Dióxido de azufre	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	521,315

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Tabla de elementos encontrados en investigación de publicaciones históricas, ingresadas el software, el cual con los inputs ingresados en el paso anterior, calcula las cantidades de emisión de contaminantes causadas por el proceso en el caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Name	Catego...	Amount	Result
> ■■■ Acidification potential - average Europe			886.23550 kg SO2 eq.
> ■■■ Climate change - GWP100			1511.81350 kg CO2 eq.
■■■ Depletion of abiotic resources - elements, ultimate reserves			0.00000 kg antimony eq.
■■■ Depletion of abiotic resources - fossil fuels			0.00000 MJ
> ■■■ Eutrophication - generic			67.77095 kg PO4--- eq.
■■■ Freshwater aquatic ecotoxicity - FAETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenz...
> ■■■ Human toxicity - HTP inf			675.62424 kg 1,4-dichlorobe...
■■■ Marine aquatic ecotoxicity - MAETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenz...
■■■ Ozone layer depletion - ODP steady state			0.00000 kg CFC-11 eq.
> ■■■ Photochemical oxidation - high Nox			39.09863 kg ethylene eq.
■■■ Terrestrial ecotoxicity - TETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenz...

Figura 18. Impacto ambiental de trituración para pellets

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA Nota. Tabla calculada por el software de elementos contaminantes para el medio ambiente a partir del caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Paso 3: Mezclado. El material a peletizar se empieza a mezclar con agua para aumentar su humedad, el material tiene que estar alrededor del 20% de humedad para al momento de compensarlo quedar con una masa suficiente.

Tabla 20. Entradas de mezclado para proceso de pellets

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Monto
Residuo de poda seco triturado		Masa	kg	6040
Agua	Flujos elementales / Recurso / en agua	Masa	kg	2013,34

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Tabla de datos encontrados en investigación de publicaciones históricas y calculados con relación a la cantidad estimada en el caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Tabla 21. Salidas de mezclado para proceso de pellets

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Monto
Material para Pellet		Masa	kg	8053,34

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Tabla de elementos encontrados en investigación de publicaciones históricas, ingresadas el software, el cual con los inputs ingresados en el paso anterior, calcula las cantidades de emisión de contaminantes causadas por el proceso en el caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Name	Category	Amount	Result
Acidification potential - average Europe			0.00000 kg SO2 eq.
Climate change - GWP100			0.00000 kg CO2 eq.
Depletion of abiotic resources - elements, ultimate reserves			0.00000 kg antimony eq.
Depletion of abiotic resources - fossil fuels			0.00000 MJ
Eutrophication - generic			0.00000 kg PO4--- eq.
Freshwater aquatic ecotoxicity - FAETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenze...
Human toxicity - HTP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenze...
Marine aquatic ecotoxicity - MAETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenze...
Ozone layer depletion - ODP steady state			0.00000 kg CFC-11 eq.
Photochemical oxidation - high Nox			0.00000 kg ethylene eq.
Terrestrial ecotoxicity - TETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenze...

Figura 19. Impacto ambiental de mezclado para proceso de pellets

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA Nota: Tabla calculada por el software de elementos

contaminantes para el medio ambiente a partir del caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Paso 4: Prensado. Antes del prensado se deja secando para que se retire el exceso de humedad de la mezcla y esta quede en un porcentaje de 10%, luego se mete a la peletizadora que los prensa y les da su forma, de paso con su calor emitido la pectina se mantiene activa y ayuda al proceso.

Tabla 22. *Entradas de prensado*

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Monto
Energía, proveniente del petróleo	Flujos elementales / Recurso / no especificado	Energía	MJ	2085,26
Material para Pellet		Masa	kg	8053,34

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Tabla de datos encontrados en investigación de publicaciones históricas y calculados con relación a la cantidad estimada en el caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Tabla 23. *Salidas de prensado*

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Monto
Dióxido de carbono	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	521,315
Monóxido de carbono del aire	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	521,315
Óxido de nitrógeno	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	521,315

Pellet	Flujos elementales	Masa	kg	8053,34
Caudales elementales / Emisión al aire /				
	Dióxido de azufre Alta densidad de población	Masa	kg	521,315

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Tabla de elementos encontrados en investigación de publicaciones históricas, ingresadas el software, el cual con los inputs ingresados en el paso anterior, calcula las cantidades de emisión de contaminantes causadas por el proceso en el caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Name	Category	Amount	Result
> Acidification potential - average Europe			886.23550 kg SO2 eq.
> Climate change - GWP100			1511.81350 kg CO2 eq.
Depletion of abiotic resources - elements, ultimate reserves			0.00000 kg antimony eq.
Depletion of abiotic resources - fossil fuels			0.00000 MJ
> Eutrophication - generic			67.77095 kg PO4--- eq.
Freshwater aquatic ecotoxicity - FAETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq.
> Human toxicity - HTP inf			675.62424 kg 1,4-dichlorobenzene eq.
Marine aquatic ecotoxicity - MAETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq.
Ozone layer depletion - ODP steady state			0.00000 kg CFC-11 eq.
> Photochemical oxidation - high Nox			39.09863 kg ethylene eq.
Terrestrial ecotoxicity - TETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq.

Figura 20. Impacto ambiental del prensado

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Tabla calculada por el software de elementos contaminantes para el medio ambiente a partir del caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

3.3 Resultado De La Obtención De Pellets

Como fue descrito en el proceso anterior Compostaje Aerobio y en los siguientes, añadiremos la suma de los procesos para obtener su resultado y a la vez sumaremos sus impactos en el ambiente para obtener unas gráficas y comparar los procesos de una

manera más sencilla.

Tabla 24. Sumatoria de los procesos

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Monto
Material para Pellet		Masa	kg	8053,34
Pellet	Flujos elementales	Masa	kg	8053,34
Residuo de poda Seco		Masa	kg	6040
residuo de poda seco triturado		Mas Pellet	kg	6040

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. La tabla de datos generada con los datos de los resultados de la sumatoria de outputs de todos los procesos.

Tabla 25. Resultado de producto final

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Monto
Pellet Listos	Flujos elementales	Masa	kg	8053,34

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Es una tabla de resultados arrojado con la cantidad final del producto obtenido en el proceso.

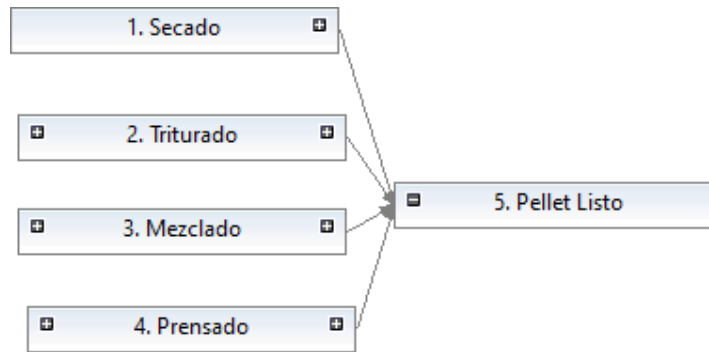


Figura 21. Modelo según ReCiPe 2008 del Proceso de Producción de Pellets. Es la representación gráfica de los inputs y los outputs por etapas del proceso para obtener el producto final.

Al momento de calcular obtendremos la representación gráfica de los resultados de los cálculos internos realizados por el Software OPENLCA en las categorías disponibles:

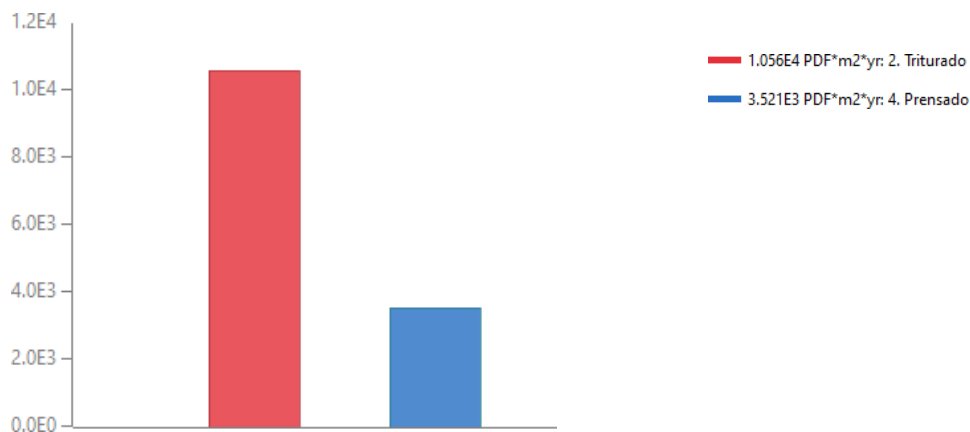


Figura 22. Representación gráfica que se genera en la categoría de Acidificación y Eutrofización, y donde se evidencia que la etapa del proceso con mayor impacto al medio ambiente ha sido el triturado (escrito de este modo para que el programa OPEN LCA lo disting

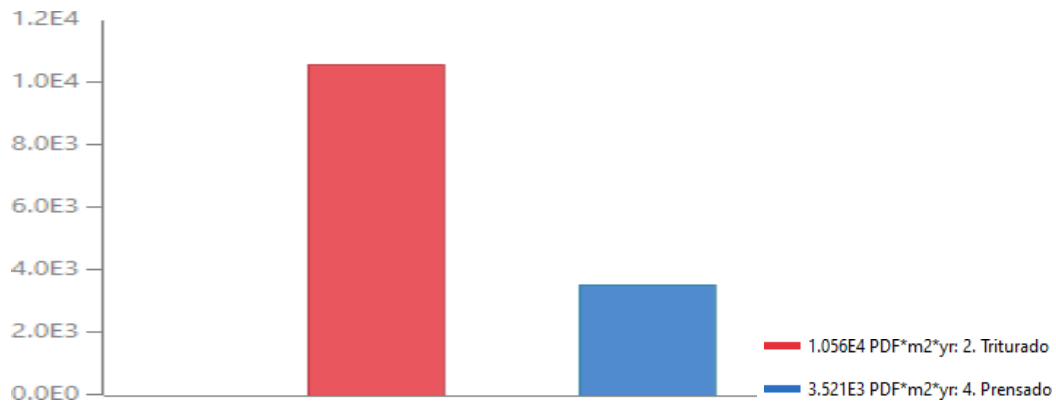


Figura 23. Representación gráfica que se genera en la categoría de impacto en el ecosistema y donde se evidencia que la etapas del proceso con mayor impacto en el ecosistema es triturado.

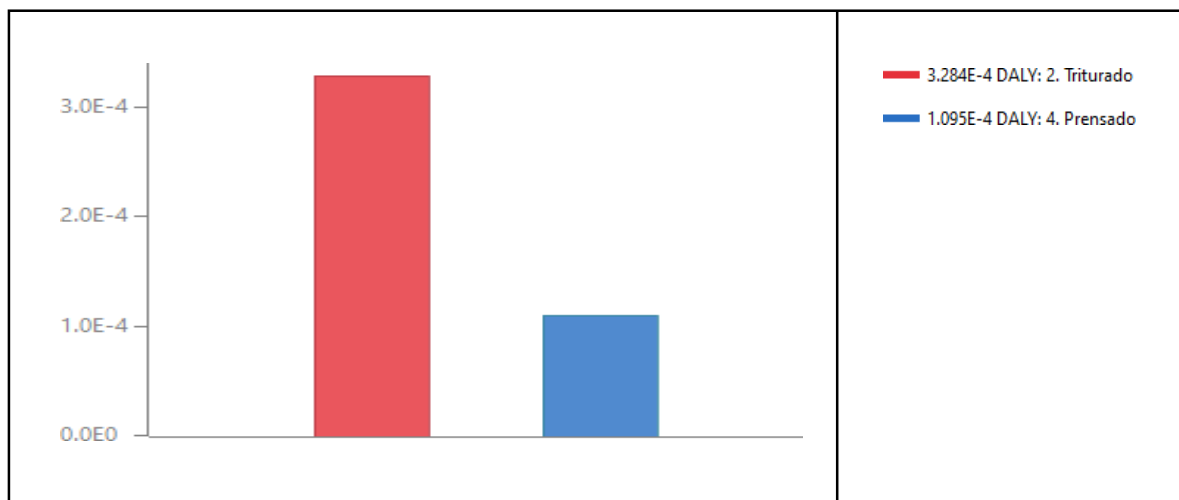


Figura 24. Representación gráfica que se genera en la categoría de Cambio Climático, donde se evidencia que la etapa del proceso más dominante en el impacto al Cambio Climático es triturado.

Otra de las opciones, que el Software OPEN LCA ofrece es el análisis del impacto que

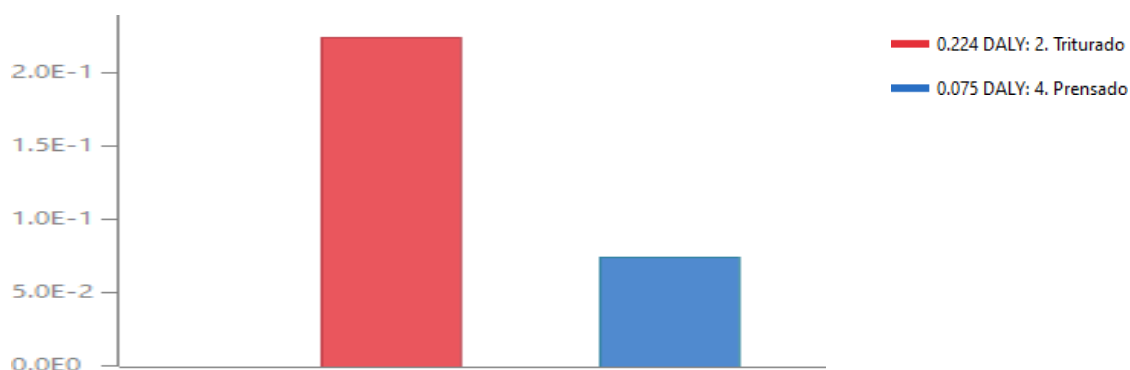


Figura 25. Representación gráfica que se genera en la categoría de impacto respiratorio por material inorgánico y donde se evidencia que las etapas del proceso más dominante al impacto respiratorio por material orgánico es trituración.

tiene la suma de todos los procesos en el ecosistema. Lo que nos permite obtener los resultados que nos ayuden a tomar una decisión correcta del impacto final de los procesos analizados

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
> Ecosystem Quality - Land conversion				0.00000	PDF*m2
> Ecosystems-total				1.40838E4	PDF*m...
> Resources - fossil fuels				0.00000	MJ surp...
> Human Health - Carcinogenics				0.00000	DALY
> Human Health - Respiratory effects caused by organic substances				0.00000	DALY
> Ecosystem Quality - Land occupation				0.00000	PDF*m...
> Ecosystems Quality - Acidification and Eutrophication				1.40838E4	PDF*m...
> Human Health - Respiratory effects caused by inorganic substances				0.29882	DALY
> Resources - minerals				0.00000	MJ surp...
> Human Health - Climate change				0.00044	DALY
> Ecosystems Quality - Ecotoxicity				0.00000	PDF*m...
> Human health - Ionising radiation				0.00000	DALY
> Human Health-total				0.29926	DALY
> Resources-total				0.00000	MJ surp...
> Human health - Ozone layer depletion				0.00000	DALY

Figura 26. Resultados de impacto ambiental de la suma de los procesos

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA Nota. Tabla de datos emitida por el Software OPEN LCA.

3.4 Proceso De Biodigestión

Para el diseño del biodigestor acorde a las necesidades y condiciones del municipio de Valledupar se considera una planta de biodigestión a partir de residuos de poda de

árboles urbanos (basado en la hipótesis de la presente investigación) y en mayor proporción, a la cual se le introduce materia orgánica, que para esta planta estaría derivada de desechos vegetales y frutales, en una proporción de dos tercios de agua por uno de residuos. Generando un ambiente biológico activo que desencadene la fermentación anaerobia por la acción interna de los microorganismos, logrando de esta manera producir Gas Metano (Biogás) y gases lixiviados que se pueden utilizar como un tipo de fertilizantes.

Paso 1: Transporte Y Compactación. Empezamos el proceso de transformación con el transporte del residuo de poda del arbolado urbano en un vehículo compactador que lo recoge de las calles del municipio y tal como en los procesos estudiados con anterioridad, esta etapa es un apoyo para el desarrollo del proceso pero no integra la cadena productiva del producto terminado por tanto no es sometida a evaluación en el Software OPEN ACV.

Paso 2: Triturar. El residuo de poda de arbolado urbano compactado es sometido a trituración para poder disminuir su tamaño y dimensión en el necesario para ser introducido por el conducto hacia la máquina donde se pueda homogeneizar con el agua y los restos de materia orgánica. En la tabla 23 se presenta las entradas del triturado inicial que permitirá iniciar el proceso de producción de biogás en la tabla 24 se presenta las salidas del proceso.

Tabla 26. Entradas en el triturado para producción de biogás

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Monto
Energía, proveniente del petróleo	Flujos elementales / Recurso / no especificado	Energía	MJ	2085,26
Residuo de poda	Flujos elementales	Masa	kg	6040

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Tabla de datos encontrados en investigación de publicaciones históricas y calculados con relación a la cantidad estimada en el caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar-

Tabla 27. Salidas en el triturado para producción de biogás

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Monto
Dióxido de carbono	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	521,315
Monóxido de carbono del aire	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	521,315
Óxido de nitrógeno	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	521,315
Residuo de Poda Triturado		Masa	kg	6040
Dióxido de azufre	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	521,315

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Tabla de elementos encontrados en investigación de publicaciones históricas, ingresadas el software, el cual con los inputs ingresados en el paso anterior, calcula las cantidades de emisión de contaminantes causadas por el proceso en el caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Name	Category	Amount	Result
> Acidification potential - average Europe			886.23550 kg SO2 eq.
> Climate change - GWP100			1511.81350 kg CO2 eq.
Depletion of abiotic resources - elemen			0.00000 kg antimony eq.
Depletion of abiotic resources - fossil fu			0.00000 MJ
> Eutrophication - generic			67.77095 kg PO4--- eq.
Freshwater aquatic ecotoxicity - FAETP i			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq.
> Human toxicity - HTP inf			675.62424 kg 1,4-dichlorobenzene eq.
Marine aquatic ecotoxicity - MAETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq.
Ozone layer depletion - ODP steady stat			0.00000 kg CFC-11 eq.
> Photochemical oxidation - high Nox			39.09863 kg ethylene eq.
Terrestrial ecotoxicity - TETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq.

Figura 27. Impacto ambiental del triturado

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Tabla calculada por el software de elementos contaminantes para el medio ambiente a partir del caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Paso 3: Mezclar. El material triturado se mezcla con una semilla activadora, que para el caso de la presente investigación, es obtenida a partir de material orgánico como cáscaras de mango y otros frutales y mezclado con agua para que dé inicio a su proceso de fermentación.

Al tener 6.04 y añadir $\frac{1}{3}$ más en material orgánico aumenta la masa de nuestro producto a 8.05 toneladas de mezcla de material triturado con material orgánico. Como se registra en el siguiente balance de masa:

$$\begin{array}{rcl}
 6,04 \text{ ton de triturado} & + & \frac{1}{3} (6,04) \text{ ton de material} & = & 8,05 \text{ ton} \\
 \text{de mezcla de poda seco} & & & & \text{orgánico} \\
 \text{(semilla activadora)} & & & &
 \end{array}$$

Tabla 28. Entradas en la mezcla para producción de biogás

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Monto
-------	-----------	--------------------	--------	-------

Materia orgánica policíclica, no especificada	Caudales elementales / Emisión al aire / sin especificar	Masa	kg	2013,33
Residuo de Poda Triturado		Masa	kg	6040
Agua	Flujos elementales / Recurso / en agua	Masa	kg	2013,33

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Tabla de datos encontrados en investigación de publicaciones históricas y calculados con relación a la cantidad estimada en el caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar

Tabla 29. Entradas en el mezclado para producción de biogás

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Monto
Mezclado de Triturado con Materia Orgánica		Masa	kg	8053,33

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Tabla de elementos encontrados en investigación de publicaciones históricas, ingresadas el software, el cual con los inputs ingresados en el paso anterior, calcula las cantidades de emisión de contaminantes causadas por el proceso en el caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Name	Category	Amount	Result
Acidification potential - average Europe			0.00000 kg SO2 eq.
Climate change - GWP100			0.00000 kg CO2 eq.
Depletion of abiotic resources - elements, ultimate reserves			0.00000 kg antimony eq.
Depletion of abiotic resources - fossil fuels			0.00000 MJ
Eutrophication - generic			0.00000 kg PO4--- eq.
Freshwater aquatic ecotoxicity - FAETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq.
Human toxicity - HTP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq.
Marine aquatic ecotoxicity - MAETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq.
Ozone layer depletion - ODP steady state			0.00000 kg CFC-11 eq.
Photochemical oxidation - high Nox			0.00000 kg ethylene eq.
Terrestrial ecotoxicity - TETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq.

Figura 28. Impacto ambiental del mezclado

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA Nota. Tabla calculada por el software de elementos contaminantes para el medio ambiente a partir del caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Paso 4: Fermentar. Al añadir el material orgánico se da inicio a un proceso de semi-

descomposición o degradación biológica anaeróbica del total de la mezcla (compuesta por el residuo de poda del arbolado urbano y material orgánico previamente preparado como iniciador de la actividad), por medio de poblaciones de microorganismos y bacterias termofílicas que existen en los residuos y el material orgánico.

Durante esta etapa del proceso se deben lograr o conservar condiciones muy específicas que garanticen la obtención de una buena fermentación del producto y que la maduración nos de el mejor resultado, las cuales son:

Humedad: 70%, Temperatura ambiente (promedio de Valledupar),

Durante un tiempo de 20 a 24 días.

Este proceso nos entrega una gran cantidad de gases que serán almacenados gracias al biodigestor en una gran bolsa para luego ser almacenado en tanques con disposición que bien puede ser para fines comercializables o utilizados en el desarrollo del mismo proceso de la planta productiva.

Tabla 30. Entradas en la fermentación para producción de biogás

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Monto
Mezclado de Triturado con Materia Orgánica		Masa	kg	8053,33

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Tabla de datos encontrados en investigación de publicaciones históricas y calculados con relación a la cantidad estimada en el caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Tabla 31. Salidas en la fermentación para producción de biogás

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Monto
-------	-----------	--------------------	--------	-------

Gases ácidos, no especificados	Caudales elementales / Emisión al aire / sin especificar	Masa	kg	1006,6 25
Metano	Caudales elementales / Emisión al aire / sin especificar	Masa	kg	1006,6 25
Poda Fermentada		Masa	kg	8053,3 3

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Tabla de elementos encontrados en investigación de publicaciones históricas, ingresadas el software, el cual con los inputs ingresados en el paso anterior, calcula las cantidades de emisión de contaminantes causadas por el proceso en el caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Name	Category	Amount	Result
☰ Acidification potential - average Europe			0.00000 kg SO2 eq.
> ☰ Climate change - GWP100			2.51656E4 kg CO2 eq.
☰ Depletion of abiotic resources - elements, ultimate reserves			0.00000 kg antimony eq.
☰ Depletion of abiotic resources - fossil fuels			0.00000 MJ
☰ Eutrophication - generic			0.00000 kg PO4--- eq.
☰ Freshwater aquatic ecotoxicity - FAETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq.
☰ Human toxicity - HTP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq.
☰ Marine aquatic ecotoxicity - MAETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq.
☰ Ozone layer depletion - ODP steady state			0.00000 kg CFC-11 eq.
> ☰ Photochemical oxidation - high Nox			6.03975 kg ethylene eq.
☰ Terrestrial ecotoxicity - TETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq.

Figura 29. Impacto ambiental del mezclado

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Tabla calculada por el software de elementos contaminantes para el medio ambiente a partir del caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Paso 6: Tamizar Y Filtrar. Por último, para finalizar el proceso se procede al tamizaje el proceso hace la homogeneización de la mezcla de compost y se filtra, mínimo el 90% del agua (la cual puede ser utilizada para otro proceso a futuro para minimizar el impacto ambiental).

En esta etapa del proceso de transformación anaerobio, a diferencia del proceso de compostaje aeróbico, se obtiene un subproducto que consiste en todo el residuo de poda

fermentado que puede utilizarse como compostaje, es claro que según resultados obtenidos en estudios anteriores, se debe tener en cuenta que este compost obtenido (por proceso de biodigestión) resulte con altos porcentajes de acidez en su análisis de pH y que no esté apto para el uso en suelos, a diferencia de ser sometido a tratamientos adicionales.

Tabla 32. *Entradas en tamizaje para producción de biogás*

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Monto
Energía, proveniente del petróleo	Flujos elementales / Recurso / no especificado	Energía	MJ	2780,34
Poda Fermentada		Masa	kg	8053,33

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Tabla de datos encontrados en investigación de publicaciones históricas y calculados con relación a la cantidad estimada en el caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Tabla 33. *Salidas en tamizaje para producción de biogás*

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Monto
Abono Homogéneo	Dióxido de carbono	Masa	kg	8053,33
	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	695,085
Monóxido de carbono del aire	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	695,085

Óxido de nitrógeno	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	695,085
Agua secundaria	Caudales elementales / Residuos / sin especificar	Masa	kg	1013,33
Dióxido de azufre	Caudales elementales / Emisión al aire / Alta densidad de población	Masa	kg	695,085

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA. Nota. Tabla de elementos encontrados en investigación de publicaciones históricas, ingresadas el software, el cual con los inputs ingresados en el paso anterior, calcula las cantidades de emisión de contaminantes causadas por el proceso en el caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Name	Category	Amount	Result
> ■■■ Acidification potential - average Europe			1181.64450 kg SO2 eq.
> ■■■ Climate change - GWP100			2015.74650 kg CO2 eq.
■■■ Depletion of abiotic resources - elements, ultimate			0.00000 kg antimony eq.
■■■ Depletion of abiotic resources - fossil fuels			0.00000 MJ
> ■■■ Eutrophication - generic			90.36105 kg PO4--- eq.
■■■ Freshwater aquatic ecotoxicity - FAETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq.
> ■■■ Human toxicity - HTP inf			900.83016 kg 1,4-dichlorobenzene eq.
■■■ Marine aquatic ecotoxicity - MAETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq.
■■■ Ozone layer depletion - ODP steady state			0.00000 kg CFC-11 eq.
> ■■■ Photochemical oxidation - high Nox			52.13138 kg ethylene eq.
■■■ Terrestrial ecotoxicity - TETP inf			0.00000 kg 1,4-dichlorobenzene eq.

Figura 30. Impacto ambiental calculado

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA Nota. Tabla calculada por el software de elementos contaminantes para el medio ambiente a partir del caso hipotético de funcionamiento de la planta de Valledupar.

Paso 7: Almacenaje Y Despacho. Para El Biogás obtenido se dispone de almacenamiento cerrado, libre de contacto con el O₂ y dispuesto para el tipo de procesamiento para el que se destine su utilización como producto terminado, minimizando y controlando el riesgo ambiental de su contacto con el medio ambiente.

Se dispone un mecanismo de carga y transporte que traslade el compost al sistema de bodegaje y almacenamiento pertinente, incluyendo el empaque y despacho según la disposición que se estime, este proceso no afectará a

nuestro diagrama de flujo ni a nuestro proceso de transformación principal por tanto el software OPEN LCA no calcula su impacto ambiental (no implica un proceso, solo manipulación).

Resultados.

En el software OpenLCA se crea un nuevo proceso para calcular la suma de los demás procesos y arroje un resultado de análisis del impacto ambiental, no se tomaremos en cuenta la variable Proceso, ya que se utilizaría en un proceso diferente al que estamos analizando y por tanto no afecta el producto terminado del proceso de Obtención de Biogás.

Es necesario, seleccionar el proveedor de la entrada en cada proceso para obtener el cálculo de resultados de los procesos anteriores

Inputs									
Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Rev...	Uncertainty	Avoided w...	Provider	Data quali...	Descripti...
F _g Abono Homogeneo		8053.33000	kg		none		P 4. Tam...		
F _g Acid gases, unspecified	Emission to air/unspec...	1006.62500	kg		none				
F _g Methane	Emission to air/unspec...	1006.62500	kg		none				
F _g Mezclado de Triturado con M...		8053.33000	kg		none		P 2. Mez...		
F _g Poda Fermentada		8053.33000	kg		none		P 3. Fer...		
F _g Residuo de Poda Triturado		6040.00000	kg		none		P 1. Tritu...		
Outputs									
Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Rev...	Uncertainty	Avoided p...	Provider	Data quali...	Descripti...
F _g BioGas	Elementary flows	2013.25000	kg		none	<input type="checkbox"/>			
F _g Compost		8053.33000	kg		none				

Figura 31. Entradas y salidas en producción de biogás

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA Nota. Tabla de resumen de datos emitida por el Software OPEN LCA.

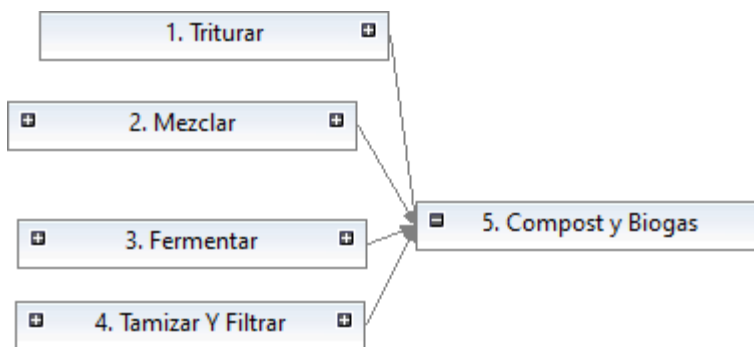


Figura 32. Modelo según ReCiPe 2008 del Proceso de Producción de Biogás. Es la representación gráfica de los inputs y los outputs por etapas del proceso para obtener el producto final.

El Software OPEN LCA realiza cálculos internos de los impactos que generan los procesos de acuerdo a las categorías de medidas comparables, los siguientes corresponden al proceso de producción de Biogás según las condiciones técnicas y ambientales del municipio de Valledupar para la presente investigación:

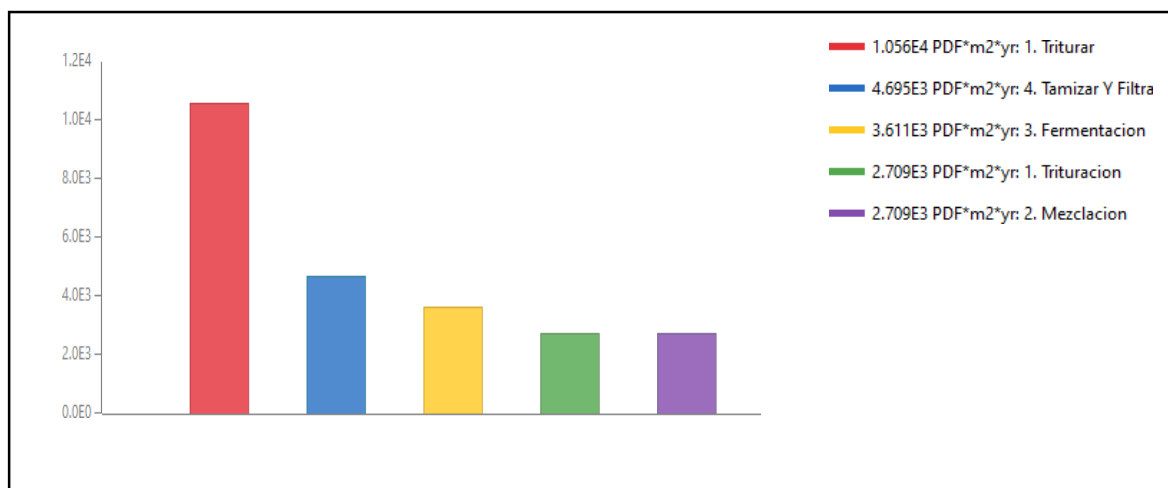


Figura 33. Representación gráfica que se genera en la categoría de Acidificación y Eutrofización, donde se evidencia que la etapa del proceso con mayor impacto al medio ambiente ha sido el triturado.

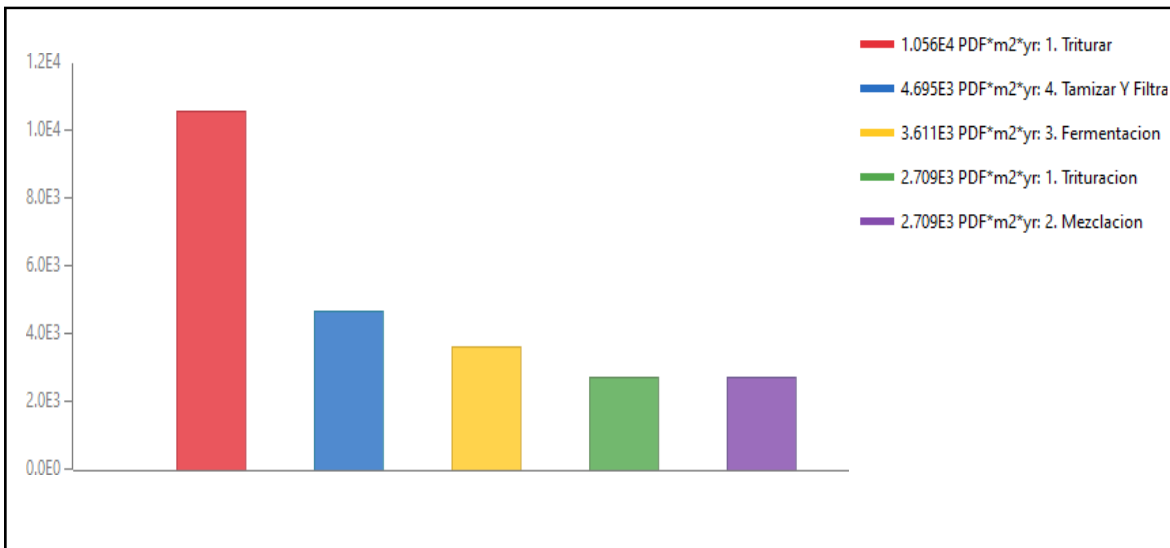


Figura 34. Representación gráfica que se genera en la categoría de impacto en el ecosistema y donde



Figura 35. Representación gráfica que se genera en la categoría de Cambio Climático.

Donde se evidencia que la etapa del proceso más dominante en el impacto al Cambio Climático es triturado y la que menos impacta el Cambio Climático es la obtención del biogás y el compost debido al aislamiento de los materiales sin contacto con el medio ambiente.

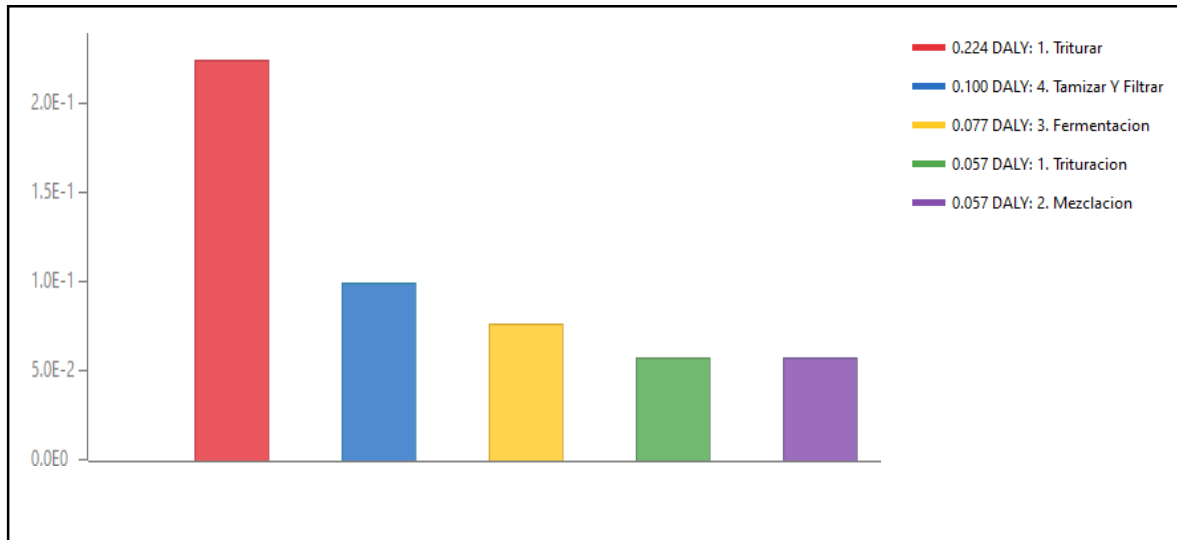


Figura 36. Representación gráfica que se genera en la categoría de Cambio Climático

Donde se evidencia que la etapa del proceso más dominante en el impacto al Cambio Climático es triturada.

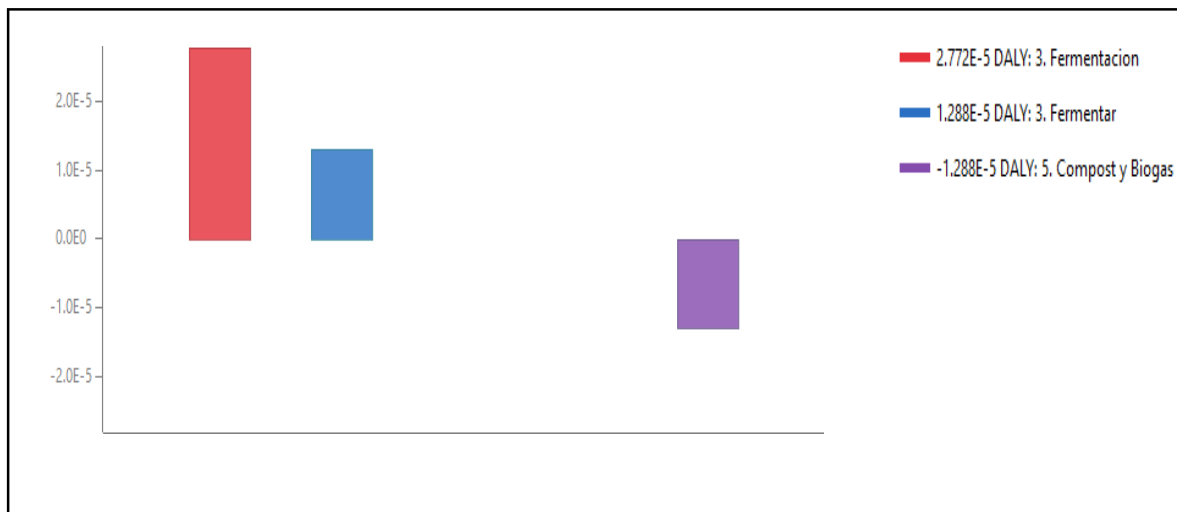


Figura 37. Representación gráfica que se genera en la categoría de impacto respiratorio por material inorgánico

Donde se evidencia que las etapas del proceso más dominante al impacto respiratorio por material orgánico es trituración y la que menos genera impacto por su

almacenamiento aislado del ambiente natural (este biogás aún no ha sido procesado para ser usado en otros procesos).

Otra de las opciones, que el software open lca ofrece es el análisis del impacto que tiene la suma de todos los procesos en el ecosistema. Lo que nos permite obtener los resultados que nos ayuden a tomar una decisión correcta del impacto final de los procesos analizados.

Name	Category	Amount	Result
☰ Ecosystem Quality - Land conversion			0.00000 PDF*m2
☰ Ecosystem Quality - Land occupation			0.00000 PDF*m2*yr
☰ Ecosystems Quality - Acidification and Eutrophication			0.00000 PDF*m2*yr
☰ Ecosystems Quality - Ecotoxicity			0.00000 PDF*m2*yr
☰ Ecosystems-total			0.00000 PDF*m2*yr
☰ Human Health - Carcinogenics			0.00000 DALY
> ☰ Human Health - Climate change			0.00443 DALY
☰ Human health - Ionising radiation			0.00000 DALY
☰ Human health - Ozone layer depletion			0.00000 DALY
☰ Human Health - Respiratory effects caused by inorganic substances			0.00000 DALY
> ☰ Human Health - Respiratory effects caused by organic substances			1.28848E-5 DALY
> ☰ Human Health-total			0.00444 DALY
☰ Resources - fossil fuels			0.00000 MJ surplus energy
☰ Resources - minerals			0.00000 MJ surplus energy
☰ Resources-total			0.00000 MJ surplus energy

Figura 38. Resultados de impacto ambiental de la suma de los procesos

Fuente: Autor 2021, Adaptado de OPEN LCA Nota. Tabla de datos emitida por el Software OPEN

LCA

4. DISCUSIÓN

En la ciudad de Valledupar existe una necesidad palpable que consiste en tomar una alternativa de transformación del residuo de poda urbana de Valledupar que minimice el impacto ambiental actual y sobre todo que aporte beneficios en el desarrollo sostenible, cuidado del medio ambiente y bienestar de la comunidad. Se han buscado alternativas que minimicen la contaminación, se controlen los puntos críticos ambientales y aporten en el desarrollo sostenible como meta de participación mundial.

Es cierto que Valledupar no tiene un alto nivel de desarrollo de una práctica para reducir y controlar el impacto ambiental, tal como aparece descrito en el marco teórico del presente documento, lo que sí es gratificante resaltar son los avances en los lineamientos en el desarrollo de su jurisprudencia, el cuidado y la admiración por el arbolado urbano entre sus habitantes y dirigentes, siendo esto debido al alto sentido de pertenencia por el valor agregado que le ofrece a la ciudad.

En la tabla 18, Resultado de impacto ambiental en la suma de los procesos del *Compostaje Aerobio* cuyo producto terminado es Compost. El software detecta que el proceso genera:

Daño a la Calidad del Ecosistema - Acidificación y Eutrofización que equivale a 5,04864E4 PDF*m²*yr,

Daño a la salud humana - Cambio Climático que equivale a 0.03871 DALY,

Daños a los efectos respiratorios - Material Inorgánico que equivale a 1.07117

DALY. En la tabla 32, Resultado de impacto ambiental en la sumatoria de los procesos de

Fabricación de Pellets cuyo producto terminado son los PELLETS. El software detecta que el proceso genera:

Daño a la Calidad del Ecosistema - Acidificación y Eutrofización que equivale a 1.40838E4 PDF*m²*yr,

Daños a los efectos respiratorios - Material Inorgánico que equivale a 0.29882

DALY. En la tabla 46, Resultado de impacto ambiental en la suma de procesos de

Biodigestión cuyos productos finales son *BIOGÁS* y *COMPOST*. El Software detecta que el proceso genera:

Daño a la Calidad del Ecosistema - Acidificación y Eutrofización que equivale a 9052.96630 PDF*m²*yr,

Daños a la salud humana - Efectos respiratorios / Material Orgánico que equivale a 2.77159 E-5 DALY.

Daños a la salud humana - Efectos respiratorios / Material Inorgánico que equivale a 0.19208 DALY.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente estudio se concluye que: en el aprovechamiento de residuos de poda urbana de la Ciudad de Valledupar se basó en el Análisis del Ciclo de Vida (ACV), evaluando los procesos de compostaje aerobio, formación Pellets y biodigestión, utilizando como método de alternativas el Software Open LCA, el cual está integrado por un método ReCipe, que incluye puntos medios y finales, las entradas y salidas de cada proceso evaluado, donde arrojó resultados que pueden tener algunos porcentajes de error de valoración. No obstante, el software sirvió como herramienta fundamental para analizar objetivamente el entorno en base a un método sistemático y científico. Así mismo, se logra identificar la problemática actual y los impactos ambientales por la inadecuada disposición de los residuos de poda de arbolado urbano, evaluando el ciclo de vida mediante tablas y figuras expresados en cada uno de los procesos evaluados, con sus respectivas entradas y salidas en donde los más representativos son: fermentación, trituración y compostaje anaerobio, donde se generan gases provenientes de la energía utilizada para el generador de energía de la pala de mezclado, siendo de esta manera la fermentación uno de los procesos que más genera gases y líquidos nocivos, comparado con otros procesos como el amoníaco y el metano.

Por otro lado, gracias al proceso de aprovechamiento de residuos de poda urbana en el municipio de Valledupar, luego de realizar el análisis al proceso de tamizaje y re-uso del mismo, se concluye que actualmente dichas cantidades no afectan directa o indirectamente el diagrama de flujo del proceso de transformación del residuo de poda urbano.

Con respecto a la evaluación de impactos de ciclo de vida existen unos componentes

regulatorios de la EICV (Evaluación del Inventario de Ciclo de Vida), los cuales son: extracción de recursos abióticos, uso del suelo, cambio climático, reducción del ozono estratosférico, entre otros. Se obtienen unas categorías de impacto de “punto medio” y categorías de punto final, que en otras palabras las categorías de impacto ambiental ocasionan pero no definen que daño está ocurriendo para los efectos prácticos de los factores ambientales que existen, por ejemplo, el daño ecológico, disminución de recursos, etc. Entonces, dichas variables de estas categorías corresponden a una categoría de punto final que define estrictamente el daño que se espera que las categorías de punto medio puedan tener, como por ejemplo el cambio climático, la cual es una categoría de impacto, donde existe una afectación de ciertas variables del clima, pero en realidad hay un daño final el cual es el daño ecológico y es definida como categoría de punto final.

El aprovechamiento forestal se viene desarrollando en pro de atender las crecientes necesidades de orden económico, social y ambiental; proponer el desafío de integrar dinámicamente las múltiples variables que presenta: sitios forestales, paquetes tecnológicos, empresas e industrias. EL país ha adoptado un decreto reglamentario único para los departamentos de medio ambiente y desarrollo sostenible, y el Decreto núm. 1076 de 2015 que regula el uso de los bosques.

Es importante entender que la tala de árboles o la tala de árboles no es una actividad prohibida en nuestra ley, sino una actividad supervisada por las autoridades ambientales, la jurisdicción competente ha emitido una autorización para ello y requiere de los interesados con anticipación.

Debemos tener en cuenta que si sus prácticas se implementan correctamente, la deforestación a través de actividades de reducción de impactos dará como resultado la reducción de emisiones; y se puede concluir que esto solo es posible si se promueve el desarrollo y el bienestar del capital humano en los bosques y concesiones forestales. Se deben mejorar las condiciones de trabajo, se deben fortalecer las capacidades técnicas y se debe reducir la rotación de personal.

Se concluye que la falta de bases de datos para ACV nacionales y regionales, dificultan la realización precisa de la utilización del software OPEN LCA y de la necesidad de crear en el futuro un inventario nacional para el ACV, con el fin de permitir mayor precisión de los resultados obtenidos al contexto colombiano.

Referencias

- Alcaldía de Valledupar. (03 de 2017). *PLAN DE MANEJO DE ARBOLADO URBANO DE LA CIUDAD DE VALLEDUPAR*. Obtenido de https://tizmogollon.weebly.com/uploads/1/5/4/7/15475746/pmau_31.03.pdf
- Alfonso Ávila, N. Z. (2014). *Principales normas ambientales colombianas*. Obtenido de <https://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/1615/NormasAmbientales.pdf;js>
- Ambiente Bogotá. (2020). *Aspectos e impactos ambientales*. Obtenido de http://ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=1c697920-c8b1-4425-8952-1b16718a223b&groupId=24732#:~:text=Impacto%20Ambiental%3A,aspectos%20ambientales%20de%20una%20organizaci%C3%B3n.
- Ambientum. (2019). *Gestión de residuos sólidos urbanos*. Obtenido de https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/consideracion_general_a_la_gestion.asp
- AQUAE. (2018). *Descubre todos los detalles acerca del biodigestor*. Obtenido de <https://www.fundacionaquae.org/biodigestor/>
- BINASS. (1997). *Disposición correcta de la basura*. Obtenido de <https://www.binasss.sa.cr/poblacion/rellenosanitario.htm>
- Carbonero, P. (2009). *Complementos de bioquímica industrias agrícola*. Obtenido de *Bioquímica de las Fermentaciones*: <http://oa.upm.es/55235/1/FERMENTACIONES.pdf>
- Cerón Salazar, I., & Cardona Alzate, C. (2011). Evaluación del proceso integral para la

obtención de aceite esencial y pectina a partir de cáscara de naranja. *Scielo*, 65-86.

Fedecacao. (2014). *La poda del cacao*. Obtenido de <https://www.fedecacao.com.co/site/images/pyardley2.pdf>

Informe de resultados del ACV del proceso. (31 de 12 de 2013). Obtenido de <http://www.life-ecoraee.eu/es/files/B1InformeResultadosACVProcesoCompleto.pdf>

IPCC. (2021). *Qué es el cambio climático*. Obtenido de <https://cambioclimatico.ineter.gob.ni/cambioclimatico.html#:~:text=El%20Cambio%20clim%C3%A1tico%20es%20la,durante%20m%C3%A1s%20de%20diez%20a%C3%B1os>.

ISM. (10 de 09 de 2020). *Las ciudades verdes o como renaturalizar los espacios urbanos*. Obtenido de Instituto Superior del Medio Ambiente: <https://www.ismedioambiente.com/las-ciudades-verdes-o-como-renaturalizar-los-espacios-urbanos/>

Ministerio de Agricultura. (31 de 07 de 2006). *DIRECCIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO Y PROTECCIÓN SANITARIA PROGRAMA NACIONAL DE AGRICULTURA ECOLÓGICA*. Obtenido de https://www.minagricultura.gov.co/tramites-servicios/Documents/Reglamento_para_la_produccion_Organica.pdf

Ministerio de Ambiente. (22 de 06 de 2021). *Huella de Carbono*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/465-plantilla#:~:text=Seg%C3%BAn%20La%20Plataforma%20de%20Financiamiento>

,debido%20a%20las%20actividades%20humanas.

Ministerio de Medio Ambiente. (2016). *Constitución del 91, la carta que le dio un reconocimiento al medio ambiente*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/2351-constitucion-del-91-la-carta-que-le-dio-un-reconocimiento-al-medio-ambiente>

Ramos Agüero, D., & Terry Alfonso, E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *SciELO*, 10.

SIG. (2020). *Superintendencia de Industria y Comercio*. Obtenido de importancia de la revisión del Sistema Internacional de Unidades (SI): <https://www.sic.gov.co/Importancia-de-la-revision-del-Sistema-Internacional-de-Unidades-SI>

Written. (22 de 01 de 2020). *¿Qué son los sistemas catalíticos estructurados?* Obtenido de <https://traductordeciencia.es/que-son-los-sistemas-cataliticos-estructurados/>

WWF. (06 de 02 de 2008). *La Sociedad y la Polución del Agua*. Obtenido de <https://www.wwf.org.py/?130101/La-Sociedad-y-la-Polucion-del-Agua#:~:text=De%20acuerdo%20al%20diccionario%20de,de%20procesos%20industriales%20o%20biol%C3%B3gicos.&text=Cuando%20el%20agua%20es%20impropia,cuando%20se%20le%20considera%20poluida>.