



Análisis de la mejor alternativa para el tratamiento y valorización de los residuos sólidos orgánicos del municipio de Pamplona Norte de Santander

Karen Yulieth Peñaloza Moreno

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero Ambiental

Asesores

Carlo Esteven Pulgarin Muñoz, Profesional en Ingeniería Sanitaria

Rafeal Alexander Araque Leal, Magíster en Ingeniería Ambiental

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Ambiental
Medellín, Antioquia, Colombia
2021

| | |
|----------------------------|--|
| Cita | (Peñaloza Moreno, 2021) |
| Referencia | Peñaloza Moreno, K., (2021). <i>Análisis de la mejor alternativa para el tratamiento y valorización de los residuos sólidos orgánicos del municipio de Pamplona Norte de Santander</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. |
| Estilo APA 7 (2020) | |



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano: Jesús Francisco Vargas Bonilla

Jefe departamento: Julio César Saldarriaga

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

| | |
|--|----|
| Resumen..... | 10 |
| 1. Planteamiento del Problema..... | 11 |
| 2. Marco Teórico..... | 13 |
| 2.1 Alternativa de Compostaje..... | 15 |
| 2.2 Alternativa de Lombricultura..... | 16 |
| 2.3 Alternativa de digestión anaerobia..... | 17 |
| 3. Objetivos..... | 19 |
| 3.1 Objetivo general..... | 19 |
| 3.2 Objetivos específicos..... | 19 |
| 4. Marco Legal..... | 19 |
| 5. Metodología..... | 24 |
| 5.1 Etapa de diagnóstico..... | 24 |
| 5.2 Etapa de caracterización de residuos sólidos..... | 25 |
| 5.2.1 Composición física de residuos sólidos en la fuente..... | 25 |
| 5.2.2 Composición física de residuos sólidos en disposición final..... | 28 |
| 5.3 Planteamiento del perfil de las alternativas y análisis de las mismas..... | 31 |
| 5.4 Evaluación, comparación y elección de alternativas para el tratamiento y valorización de los residuos orgánicos del municipio..... | 31 |
| 6. Resultados y Análisis..... | 32 |
| 6.1 Diagnóstico general del municipio de Pamplona..... | 32 |
| 6.2 Diagnóstico del sistema de servicios públicos domiciliarios sector de aseo..... | 40 |
| 6.3 Proyección de la dinámica poblacional del municipio de Pamplona..... | 43 |
| 6.4 Caracterización de los residuos sólidos del municipio..... | 47 |
| 6.4.1 El tamaño de la muestra representativa..... | 47 |
| 6.4.2 Resultados en la categoría social..... | 48 |
| 6.4.3 Resultados en la categoría ambiental..... | 50 |
| 6.4.4 Composición física de los residuos sólidos del municipio..... | 56 |

| | |
|---|-----|
| 6.4.5 Cálculo de la Generación Per Cápita de los residuos del municipio de Pamplona sector residencial. | 61 |
| 6.4.6 Proyección de la generación de residuos sólidos del municipio de Pamplona en el sector residencial, discriminado para la generación total de residuos y la generación de residuos orgánicos. | 63 |
| 6.5 Alternativas de aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos | 65 |
| 6.5.1 Perfil de las alternativas de tratamiento: Alternativa A - Compostaje | 65 |
| 6.5.2 Perfil de las alternativas de tratamiento: Alternativa B – Lombricultura..... | 77 |
| 6.5.3 Perfil de las alternativas de tratamiento: Alternativa C - Digestión anaerobia | 88 |
| 7. Evaluación de alternativas para el tratamiento y valorización de los residuos orgánicos municipales. | 96 |
| 8.Conclusiones | 98 |
| 9.Recomendaciones | 101 |
| 10. Bibliografía | 104 |

Lista de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Marco Normativo Asociado a la Gestión Integral de Residuos Sólidos, enfocado al aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos orgánicos | 19 |
| Tabla 2. Distribución de los Componentes para la Clasificación Física de los Residuos Sólidos | 30 |
| Tabla 3. Extensión de cada uno de los barrios del municipio en metros cuadrados | 33 |
| Tabla 4. Densidad poblacional del municipio de Pamplona | 34 |
| Tabla 5. Hectáreas Sembradas en el Municipio de Pamplona | 38 |
| Tabla 6. Sector Secundario. Actividades Industriales en el Municipio de Pamplona..... | 38 |
| Tabla 7. Establecimientos Comerciales con Relación Directa e Indirecta con la Materia Orgánica, Diferenciados en su Participación al por mayor y al por menor | 39 |
| Tabla 8. Aspectos Institucionales del Servicio Público de Aseo | 40 |
| Tabla 9. Aspectos de la Actividad de Recolección y Transporte | 41 |
| Tabla 10. Aspectos de la Actividad de Aprovechamiento | 41 |
| Tabla 11. Aspectos de la Actividad de Disposición Final..... | 42 |
| Tabla 12. Censos de Población Registrados para el Municipio de Pamplona entre 1964 y 2018..... | 43 |
| Tabla 13. Proyección de población para los años 2043, 2046 y 2051; método aritmético | 44 |
| Tabla 14. Proyección de población para los años 2043, 2046 y 2051; método geométrico | 44 |
| Tabla 15. Proyección de población para los años 2043, 2046 y 2051; método de Wappaus..... | 45 |
| Tabla 16. Proyección de población para los años 2043, 2046 y 2051; método exponencial | 45 |

| | |
|--|----|
| Tabla 17. Proyección de Población en Perímetro Urbano para los Años de 2043, 2046 y 2051, Información Final en la cual se Promediaron los Métodos Anteriores..... | 45 |
| Tabla 18. Estrato Socio Económico Reportado por Familias en el Perímetro Urbano | 46 |
| Tabla 19. Distribución por Sectores del Tamaño Total de la Muestra Poblacional..... | 47 |
| Tabla 20. Proyecciones de Generación de Residuos Sólidos Urbanos..... | 64 |
| Tabla 21. Niveles Aceptables y Óptimos de los Factores Físicos y Químicos para el Compostaje... | 66 |
| Tabla 22. Áreas de Proceso en la Estación de Clasificación y Aprovechamiento de Materia Orgánica | 67 |
| Tabla 23. Dimensionamiento de la ECA de Residuos Orgánicos por Compostaje, con una Capacidad de 22 ton/día | 68 |
| Tabla 24. Equipos de Operación y Control del Proceso de Compostaje | 71 |
| Tabla 25. Comparación de ingresos mensuales entre la alternativa A y la alternativa B. | 72 |
| Tabla 26. Proyección y Descripción del Recurso Humano Necesario en la Operación de la ECA de Compostaje. | 76 |
| Tabla 27. Parámetros y Rangos de la Alternativa de Lombricultura..... | 79 |
| Tabla 28. Dimensionamiento de la ECA de residuos orgánicos por Vermicompostaje, con una capacidad de 22 ton/ día bajo la alternativa de compostaje con lombrices..... | 80 |
| Tabla 29. Equipos de Operación y Control del Proceso de Vermicompostaje..... | 83 |
| Tabla 30. Proyección y Descripción del Recurso Humano Necesario en la Etapa de Operación de la ECA de Vermicompostaje..... | 87 |
| Tabla 31. Parámetros y Rangos Óptimos para el Proceso de Digestión Anaerobia..... | 88 |
| Tabla 32. Zonas de la planta de Digestión Anaerobia | 93 |

Tabla 33. Evaluación Inicial de Alternativas para el Tratamiento y Valorización de los Residuos Orgánicos Municipales 97

Tabla 34. Evaluación por Representatividad de Alternativas para el Tratamiento y Valorización de los Residuos Orgánicos Municipales 98

Lista de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Localización del Municipio de Pamplona, Norte de Santander | 32 |
| Figura 2. División Político-Administrativa de la Zona Urbana del Municipio de Pamplona, Norte de Santander | 33 |
| Figura 3. Mapa de Usos del Suelo en el Casco Urbano | 36 |
| Figura 4. Localización Puntos Muestrales, Proyecto de Caracterización de Residuos Sólidos..... | 48 |
| Figura 5. Localización Puntos Muestrales, Aprovechamiento de los Residuos Orgánicos | 55 |
| Figura 6. Generación Per Cápita de Residuos Sólidos, Distribución en la Zona Urbana del Municipio de Pamplona..... | 62 |
| Figura 7. Generación Per Cápita de Residuos Orgánicos, Distribución en la Zona Urbana del Municipio de Pamplona | 63 |

Lista de imágenes

| | |
|---|----|
| Imagen 1. Etapas del Proceso de Compostaje..... | 15 |
| Imagen 2. Etapas del Proceso de Digestión Anaerobia..... | 17 |
| Imagen 3. Población de Microorganismos en el Proceso de Digestión Anaerobia..... | 18 |
| Imagen 4. Proceso de Recolección de la Información en Campo..... | 26 |
| Imagen 5. Proceso de Recolección, Transporte y Almacenamiento de las Muestras | 28 |
| Imagen 6. Caracterización de los Residuos Sólidos en Disposición Final. | 28 |
| Imagen 7. Pesaje de los Residuos Sólidos en la Fuente | 29 |
| Imagen 8. Vista en Planta de la Sala de Compostaje y Aprovechamiento de Materia Orgánica Bajo la Alternativa Tecnología de Aireación Forzada | 52 |
| Imagen 9. Etapas del Proceso de Vermicompostaje. | 78 |
| Imagen 10. Vista en Planta de la Sala de Vermicompostaje, con una Capacidad de 22 ton/ día Bajo la Alternativa de Compostaje con Lombrices | 82 |
| Imagen 11. Tecnologías de Digestión Anaeróbica para el Aprovechamiento y Valorización de los residuos Orgánicos Municipales | 91 |

Resumen

El documento presenta el análisis y evaluación de tres alternativas para el tratamiento y valorización de residuos orgánicos generados en el municipio de Pamplona, Norte de Santander. Para ello se toma en consideración los resultados recolectados en la etapa de diagnóstico general, diagnóstico del sistema de servicios públicos domiciliarios (sector de aseo), los cálculos realizados de la proyección poblacional del municipio y la proyección de generación de residuos sólidos y orgánicos contemplando un periodo de diseño de 25 años, así como el trabajo en campo realizado en la caracterización física de los residuos sólidos.

Las alternativas A, B y C denominadas así en la estructura del proyecto, identifican las tecnologías de compostaje, vermicompostaje y digestión anaeróbica respectivamente. Con base en la información recolectada se analizaron los aspectos técnico, operacional, económico, ambiental, legal y social para cada alternativa. Se resalta el hallazgo principal del proyecto, en donde se identifica al compostaje como la mejor alternativa para el tratamiento y valorización de los residuos orgánicos, puntuada con 4,3 siendo la calificación máxima de 5,0 puntos. El puntaje de representatividad para los aspectos evaluados se encasilló de la siguiente manera; en el primer grupo el aspecto técnico y operacional (22%); seguido de los aspectos económico, ambiental y legal (15%); y en el último grupo el aspecto social (11%). Así mismo se deja plasmado en el documento las recomendaciones para dar inicio al aprovechamiento de residuos orgánicos en el municipio tomando como referencia la experiencia de investigación de la práctica en semestre de industria.

Palabras clave: Residuos Orgánicos, Aprovechamiento, Tratamiento, Compostaje, Vermicompostaje, Digestión Anaerobia

1. Planteamiento del Problema

Según el reporte de las Naciones Unidas (2020), para el año 2050 se espera que la población mundial esté por encima de los 9.700 millones de personas; condicionadas a un modelo tradicional de consumo, el cual consiste en extraer, fabricar, consumir y eliminar como lo afirman Ferreira et al., (2018), que limitan la efectiva incorporación de los residuos al ciclo productivo. A nivel mundial se proyecta un incremento del 70% pasando de 2.010 millones de toneladas registradas en 2016 a 3.400 millones de residuos para 2050 (Kaza et al., 2018). De acuerdo con el informe de “What a waste 2.0”, se tiene que a escala mundial el 44% de los residuos sólidos totales corresponden a residuos orgánicos. Particularmente para América Latina y el Caribe su porcentaje aumenta a 52% (Grupo Banco Mundial, 2019). En el caso de Colombia, según el documento CONPES (2016), la generación de residuos sólidos podría llegar a 18,74 millones de toneladas al 2030; de las cuales el 61,54% corresponde a materia orgánica.

Según la investigación realizada por Segura et al., (2020) países ubicados principalmente en Europa, describen los mejores sistemas de gestión de residuos en términos de aprovechamiento y reducción de impactos. Por otro lado, el tratamiento y disposición de residuos sólidos en América Latina y el Caribe está distribuido por el 52% dirigido a rellenos sanitarios y 26,8% a vertederos abiertos; dejando a un lado técnicas como el reciclaje, la digestión anaeróbica, el compostaje y la incineración. En Colombia, el destino final de los residuos sólidos son los sistemas de relleno sanitarios (56%) y botaderos a cielo abierto (32%). (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2020)

Dados los porcentajes anteriores, Colombia refleja una problemática en las limitaciones de vida útil de los sitios de disposición final (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2020). Sin embargo, este no es el único problema, se tiene la emisión de biogás, producto de la descomposición biológica de la materia orgánica, que contiene metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y trazas de compuestos orgánicos volátiles (COV) (Camargo y Vélez, 2009). Otro problema es la formación de lixiviados, los cuales pueden infiltrarse y contaminar el suelo, la superficie y las aguas subterráneas, ya que estos arrastran todo tipo de contaminantes en altas concentraciones. (Canizales et al., 2013 y Zi Jun

et al., 2021) También se suma la presencia de vectores en sitios de disposición final, atraídos por la potencial fuente de alimentos y la presencia de olores condicionan la ubicación del sitio, aumentando la distancia entre la recolección de los residuos y su disposición final. (López y Gracia, 2013; Liu et al., 2019; Carrasco, 2014 y Zhao et al., 2021)

Otra problemática consecuencia de la disposición indiscriminada de residuos orgánicos se traduce en la pérdida potencial de fertilidad en los suelos, es decir, el costo de oportunidad de no aprovechar la materia orgánica es la limitación en las propiedades físicas, químicas y biológicas de estos. Según el IDEAM, 2015 en el Estudio Nacional de la Degradación de Suelos, Colombia tiene 45.379.058 ha en algún grado de degradación por erosión que corresponde al 40% de la superficie continental e insular, el 20% (22.821.889 ha) presenta erosión ligera, el 17% (19.222.575 ha) erosión moderada, el 3% (3.063.204) ha erosión severa y el 0,2% (271.390 ha) erosión muy severa; esto sumado a los impactos del uso de fertilizantes químicos al contaminar el medio natural, aguas superficiales y aguas subterráneas, la aplicación excesiva de estos fertilizantes resulta en la disminución de fertilidad del suelo y aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero. (Liu et al., 2020)

Por último, en Norte de Santander el 97,5% de los municipios mantienen su esquema de disposición final en rellenos sanitarios regionales, según el informe de Corponor 2019, autoridad ambiental del departamento. En Pamplona se encuentra localizado el relleno Sanitario “La Cortada”, ubicado a 4 km del centroide. El servicio de aseo es prestado a 15.886 usuarios en el área urbana a cargo de la empresa de servicios públicos Empopamplona S.A, quien recoge 934,94 toneladas al mes; de las cuales únicamente se aprovecha el 5,35% correspondiente a material reciclable. Los residuos orgánicos comprenden el 52,2 % de la generación total aportando el mayor volumen de ocupación en el relleno sanitario. El relleno sanitario presta funcionamiento de carácter regional a 8 municipios: Cécota, Chitagá, Cucutilla, Labateca, Mutiscua, Silos, Toledo y Vetas, este último del departamento de Santander, según la autoridad ambiental tiene una vida útil de 4 años. Cabe resaltar la labor de empresas como Empopamplona, Asociación Ambiental de Aseo y Reciclaje RENACER y de la Alcaldía municipal las cuales han invertido en capacitar a la población del municipio realizando campañas de sensibilización ambiental, actividades que motivan a la separación desde la fuente y demuestran la

importancia del aprovechamiento de los residuos sólidos. Adicionalmente, han realizado capacitación puerta a puerta en cada uno de los barrios de la ciudad llegando al 90% de población capacitada en temas de separación en la fuente en el último año. En cuanto a las rutas selectivas actuales cubren únicamente la recolección y transporte de material reciclable para su aprovechamiento y valorización; estas rutas cubren el 96,6 % del territorio urbano. La alcaldía municipal comprueba el respaldo al aprovechamiento de los residuos sólidos a través del Decreto 0048 del 2020; con la finalidad de crear e implementar una cultura ciudadana para el correcto aprovechamiento de los residuos. (Empopamplona S.A., 2021)

2. Marco Teórico

Según Waste Framework Directive (WFD), (2008) se sitúa a los residuos como “cualquier sustancia u objeto que el poseedor deseche o pretenda o deba desechar”. De manera más clara son cualquier objeto, material, sustancia o elemento principalmente sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales o de servicios, que el generador presenta para su recolección por parte de la persona prestadora del servicio público de aseo. Igualmente, se considera como residuo sólido, aquel proveniente del barrido y limpieza de áreas y vías públicas, corte de césped y poda de árboles. Los residuos sólidos que no tienen características de peligrosidad se dividen en aprovechables y no aprovechables. (Rivas, 2018)

De acuerdo con la finalidad del proyecto, se hace necesario destacar que dichos residuos pueden ser aprovechables y no aprovechables dependiendo de sus características, entendiéndose por aprovechable “cualquier material, objeto, sustancia o elemento sólido que no tiene valor de uso para quien lo genere, pero que es susceptible de aprovechamiento para su reincorporación a un proceso productivo” (Decreto 1077, 2015). Todo residuo orgánico biodegradable no peligroso, es un residuo aprovechable.

Según Flores (2001), los residuos orgánicos son aquellos residuos provenientes de origen biológico, la mayoría de ellos son biodegradables, es decir que se pueden desintegrar rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica por la acción de macro, meso y microorganismos. Los restos de comida,

frutas y verduras, carne, huesos, entre otros, son ejemplos de ellos. Otros residuos tienen un tiempo de degradación más lento, como el cartón y el papel. El plástico se exceptúa de estas propiedades dado que posee una estructura molecular más compleja, a pesar de tener origen en un compuesto orgánico.

En Colombia, con base en el Decreto 1713 de 2002, el término *Gestión Integrada de Residuos Sólidos (GIRS)* es definido como la totalidad de operaciones y disposiciones encaminadas a dar a los residuos generados el adecuado destino, desde el punto de vista ambiental, de acuerdo con sus propiedades, volumen, procedencia, tratamiento, posibilidades de recuperación, aprovechamiento, comercialización y disposición final.

Al mismo tiempo se hace indispensable entender y diferenciar conceptos como el *aprovechamiento*, *el reciclaje* y *el tratamiento*. El aprovechamiento es el “proceso mediante el cual, a través de un manejo integral de residuos sólidos, los materiales recuperados se reincorporan a los ciclos económicos, productivos y naturales en forma eficiente, por medio de la reutilización, el reciclaje, la incineración con fines de generación de energía, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales, sociales y/o económicos”. (Decreto 1505, 2003)

El reciclaje se define como el “proceso mediante el cual se aprovechan y transforman los residuos sólidos recuperados y se devuelven a los materiales su potencialidad de reincorporación como materia prima o insumos para la fabricación de nuevos productos”. (Decreto 1505, 2003) y el *tratamiento* es el “conjunto de operaciones, procesos o técnicas mediante los cuales se modifican las características de los residuos sólidos incrementando sus posibilidades de reutilización, aprovechamiento o ambos para minimizar los impactos ambientales y los riesgos a la salud humana”. (ICONTEC, 2009)

Finalmente, existen múltiples alternativas para el aprovechamiento y tratamiento de residuos orgánicos donde se emplean diferentes tecnologías con la finalidad de obtener la valoración e inclusión al ciclo productivo, biogeoquímico o económico según corresponda. Esto, a través de procesos biológicos en donde los macro, meso y micro organismos en su función de productores segregan sustancias que contribuyen a la descomposición de la materia orgánica, así mismo se ha demostrado que diferentes microorganismos traen beneficios como la capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico, suprimir

enfermedades de plantas y patógenos del suelo, aumenta la calidad y la salud de los suelos, incrementando el crecimiento y rendimiento de los cultivos, incrementar el reciclado de nutrientes y producir componentes bioactivos como vitaminas, hormonas y enzimas que estimulan el crecimiento plantas (Melendrez y Sánchez. 2019). Generando en consecuencia diferentes productos como vapor de agua, calor, CO₂, CH₄ , entre otros según el método empleado. Se destacarán algunos métodos o alternativas con base en el documento RAS, Título F., (2012).

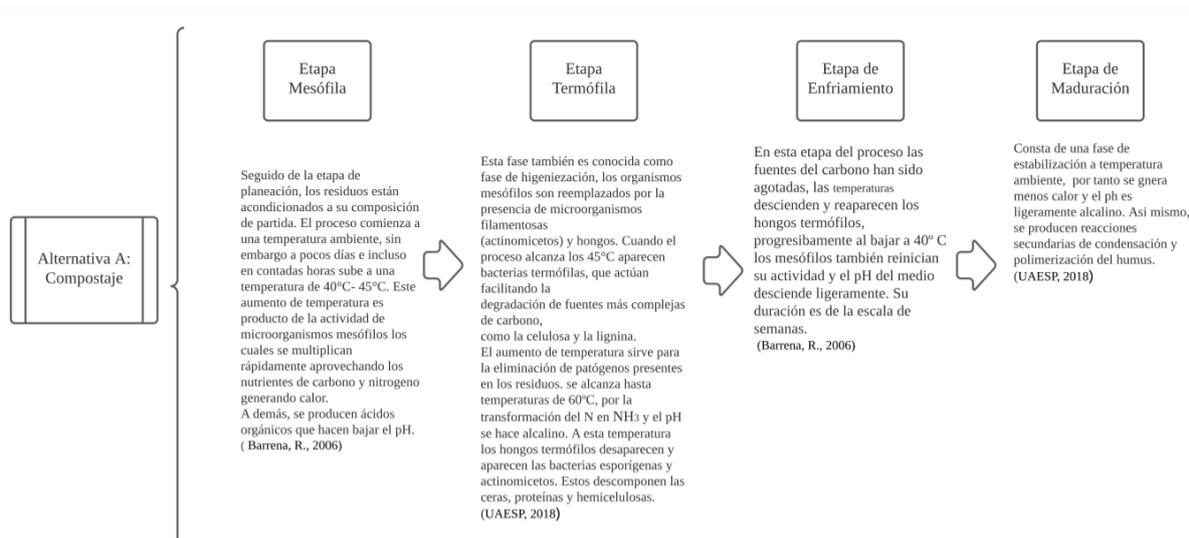
2.1 Alternativa de Compostaje

Para empezar el compostaje es el “proceso controlado e irreversible de transformación biológica aeróbica, que ocurre mediante organismos descomponedores endémicos (artrópodos y microorganismos, enzimas presentes en el medio natural), que conduce a una etapa de maduración, caracterizada por su estabilidad química y microbiológica” (RAS, 2012). Se resalta al compostaje de residuos como el método de reciclaje de residuos domésticos y de jardín a través de la descomposición principalmente de materia orgánica mediante el contenido de microorganismos, para obtener un medio de cultivo friable, similar al suelo y rico en nutrientes bajo la definición del diccionario enciclopédico de paisaje y urbanismo. (Evert, Ballard, Elsworth, et al., 2010).

El proceso de degradación aerobia de materia orgánica concluye sus etapas en la obtención del compost, también conocido como abono orgánico. La transformación anterior requiere de un seguimiento riguroso que consta de cinco etapas: etapa de preparación, etapa mesófila, etapa termófila, etapa de enfriamiento y etapa de maduración, Así mismo, es de suma importancia el control de las variables del proceso de compostaje. En la etapa inicial del proceso se preparan y mezclan los materiales para regular variables como la humedad, la textura (tamaño de partículas), se eliminan elementos no transformables como bolsas plásticas u otros residuos filtrados por una incorrecta separación en la fuente, además se deben ajustar los nutrientes (C/N). Posterior a esto empieza el proceso descrito en la imagen representativa 1.

Imagen representativa 1.

Etapas del Proceso de Compostaje.



Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

2.2 Alternativa de Lombricultura

Por otro lado, la lombricultura consiste en una biotecnología que con la ayuda de lombrices, denominadas como la herramienta de trabajo, complementan la maduración de la materia orgánica compostada y deja como productos al humus y la harina de lombriz. El método también conocido como vermicultura, consta de la crianza de lombrices rojas californianas en cautiverio a fin de transformar los residuos orgánicos animales, vegetales o mixtos para obtener abono con un alto contenido de nutrientes en condiciones aerobias y en presencia de microorganismos. Esta biotecnología, da como producto final el humus de lombriz, sustancia sobresale por sus compuestos de nitrógeno, fósforo, potasio y calcio 5 veces mayor que la urea. (Agroflor Lombricultura, 2004)

La Lombriz Roja Californiana es uno de los actores principales en el proceso, esta especie es ideal dada su corto ciclo reproductivo, mayor longevidad; se dice que pueden vivir en promedio 10 años, fortaleza de las crías en ambientes reducidos y con factores determinantes. Su reproducción está dada por la siguiente proporción, al finalizar un año de 1 lombriz se obtienen 10.000 lombrices, considerando que hasta en su etapa juvenil de 3-4 meses pueden empezar el periodo reproductivo, alcanzada la reproducción de 14-21 días ya se obtienen los individuos. (Díaz, 2002)

Su alimentación considera la siguiente limitación, aunque es a base de materia orgánica los estudios demuestran que el pH de esta debe estar en un rango de 6,5 a 8,5; siendo un parámetro frágil en la

eficiencia del proceso, debido a las altas temperaturas que se generan en la descomposición de la materia orgánica y los métodos de succionar el alimento por parte de la lombriz, es necesario realizar una preparación previa denominada precompostaje, el cual consiste en tratar la materia orgánica antes de alimentar a las lombrices para estabilizar el pH y conseguir un estado de degradación tal que la lombriz pueda alimentarse; además, es importante la eliminación de posibles patógenos presentes en los residuos por tanto se debe garantizar que el precompostaje alcance la fase termofílica con temperaturas mayores a los 60°C. En un tiempo promedio de 30-60 días las temperaturas se hacen soportables con la vida de la lombriz (Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultivo., 2018).

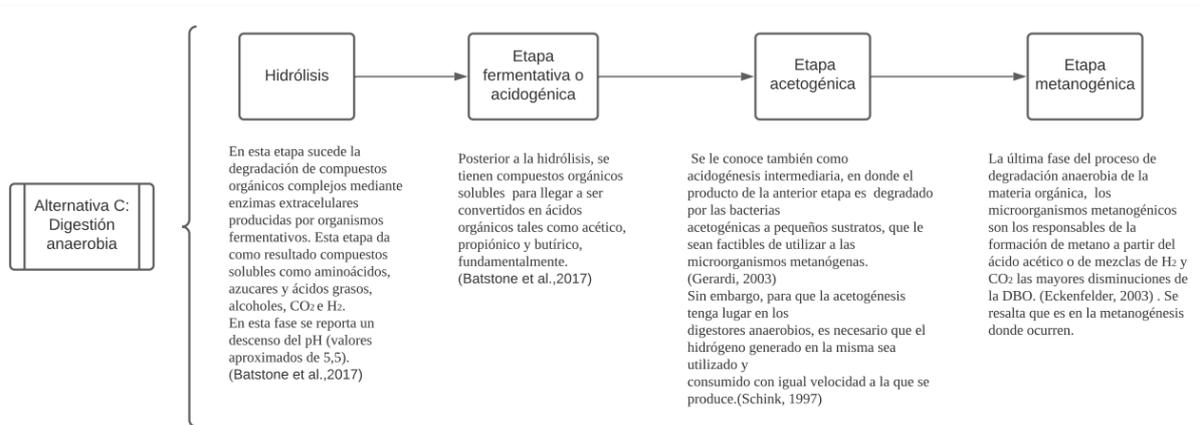
2.3 Alternativa de digestión anaerobia

Para finalizar, la *digestión anaerobia* es la degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular por efecto de microorganismos, como producto final se presenta biogás y digestato. El metano puede ser utilizado como combustible en calderas, motores o turbinas para generación de calor o electricidad y el digestato es útil como fertilizante orgánico en cultivos agrícolas. Estudios coinciden en que el proceso de la digestión anaeróbica es complejo debido al número de reacciones bioquímicas que tienen lugar y de la cantidad de microorganismos involucrados en ellas, destacando que las reacciones ocurren de forma simultánea. (Aristizábal et al. 2015)

En el aspecto técnico de la alternativa se destaca las fases que conlleva el proceso de digestión anaerobia de principio a fin, el cual ocurre en cuatro fases denominadas: Hidrólisis, etapa fermentativa o acidogénica, etapa acetogénica y etapa metanogénica. (Reyes, 2019)

Imagen representativa 2.

Etapas del Proceso de Digestión Anaerobia.



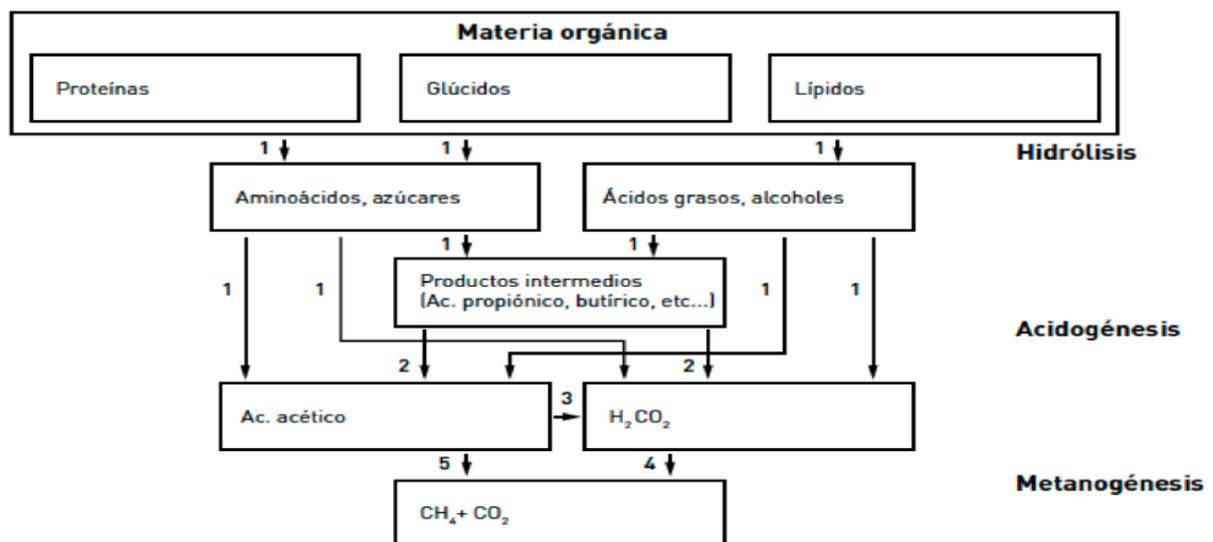
Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Adicionalmente con el objetivo de entender el proceso de digestión anaerobia de manera íntegra, se resalta la población de microorganismos presentes en cada una de las etapas descritas anteriormente.

La imagen representativa 3 identifica a través del número 1 las bacterias hidrolíticas - acidogénicas, en el número 2 las bacterias acetogénicas, en el número 3 las bacterias homoacetogénicas, en el número 4 las bacterias metanogénicas y hidrogenófilas y finalmente en el número 5 las bacterias metanogénicas.

Imagen representativa 3.

Población de Microorganismos en el Proceso de Digestión Anaerobia.



Fuente: Batstone et al. (2017)

3. Objetivos

3.1 Objetivo general: Identificar la mejor alternativa para el tratamiento y valorización de los residuos sólidos orgánicos, con base en las particularidades del municipio de Pamplona, Norte de Santander.

3.2 Objetivos específicos:

3.2.1 Apoyar en la elaboración del diagnóstico de los residuos generados en el municipio de Pamplona, Norte de Santander.

3.2.2 Formular diferentes alternativas que permitan el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en el municipio.

3.2.3 Evaluar cada una de las alternativas con base en las características del municipio.

4. Marco Legal

Tabla 1.

Marco Normativo Asociado a la Gestión Integral de Residuos Sólidos, enfocado al aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos orgánicos.

| Nº | Norma | Nombre | Ministerio/ Institución Origen de Norma | |
|----|-----------------------|--|--|--|
| 1 | CONPES 3874 de 2016 | Política nacional para la gestión integral de Residuos Sólidos | Departamento Nacional de Planeación Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio Ministerio de Educación Nacional Ministerio de Minas y Energía Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios Unidad de Planeación Minero-Energética | Su objetivo general, implementar la gestión integral de residuos sólidos como política nacional de interés social, económico, ambiental y sanitario, para contribuir al fomento de la economía circular, desarrollo sostenible, adaptación y mitigación al cambio climático. |
| 2 | CONPES 3918 de 2018 | Estrategia para la implementación de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) en Colombia. | Departamento Nacional de Planeación Presidencia de la República Ministerio de Relaciones Exteriores Ministerio de Hacienda y Crédito Público Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Departamento Administrativo Nacional de Estadística Departamento Administrativo para la Prosperidad Social Agencia Presidencial de Cooperación APC - Colombia Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación Departamento Administrativo de la Función Pública | Su objetivo general, definir la estrategia de implementación de los ODS en Colombia, estableciendo el esquema de seguimiento, reporte y rendición de cuentas, el plan de fortalecimiento estadístico, la estrategia de implementación territorial y el mecanismo de interlocución con actores no gubernamentales. |
| 3 | CRA 0720 de 2015 | Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico | Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio | "Por la cual se establece el régimen de regulación tarifaria al que deben someterse las personas prestadoras del servicio público de aseo que atiendan en municipios de más de 5.000 suscriptores en áreas urbanas, la metodología que deben utilizar para el cálculo de las tarifas del servicio público de aseo y se dictan otras disposiciones" |
| 4 | CRA 0751 de 2015 | Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico | Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio | Por la cual se modifica la Resolución CRA 720 de 2015 "Por la cual se establece el régimen de regulación tarifaria al que deben someterse las personas prestadoras del servicio público de aseo que atiendan en municipios de más de 5.000 suscriptores en áreas urbanas, la metodología que deben utilizar para el cálculo de las tarifas del servicio público de aseo, se corrige un yerro y se dictan otras disposiciones". |
| 5 | Decreto 0048 del 2020 | | Alcaldía de Pamplona - Norte de Santander | Por medio del cual se instaura la separación en la fuente de los residuos generados en el municipio de Pamplona y se dictan otras disposiciones. |
| 6 | Decreto 0596 de 2016 | Capítulo 5, esquema operativo de la actividad de aprovechamiento del servicio público de aseo y régimen transitorio para la formalización de los | Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio Presidente de la república de Colombia | Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1077 de 2015 en lo relativo con el esquema de la actividad de aprovechamiento del servicio público de aseo y el régimen transitorio para la formalización de los recicladores de oficio, y se dictan otras disposiciones" |

| | | | | |
|----|----------------------|---|---|---|
| | | recicladores de oficio. | | |
| 7 | Decreto 0838 de 2005 | | Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio Presidente de la república de Colombia | Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones. |
| 8 | Decreto 1077 de 2015 | Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio. | Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio | El Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio tendrá como objetivo primordial lograr, en el marco de la ley y sus competencias, formular, adoptar, dirigir, coordinar y ejecutar la política pública, planes y proyectos en materia del desarrollo territorial y urbano planificado del país, la consolidación del sistema de ciudades, con patrones de uso eficiente y sostenible del suelo, teniendo en cuenta las condiciones de acceso y financiación de vivienda, y de prestación de los servicios públicos de agua potable y saneamiento básico. |
| 9 | Decreto 1140 de 2003 | | Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial- Presidente de la república de Colombia | Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en relación con el tema de las unidades de almacenamiento, y se dictan otras disposiciones |
| 10 | Decreto 1505 de 2003 | | Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial- Presidente de la república de Colombia | 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 |
| 11 | Decreto 1713 de 2002 | | Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial- Presidente de la república de Colombia | "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". |
| 12 | Decreto 1784 de 2017 | | Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial- Presidente de la república de Colombia | "Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1077 de 2015 en lo relativo con las actividades complementarias de tratamiento y disposición final de residuos, sólidos en el servicio público de aseo". |
| 13 | Decreto 2041 de 2014 | | Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial- Presidente de la república de Colombia | "Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales" |
| 14 | Decreto 2202 de 1968 | | Ministerio de Agricultura y Ganadería. | Por el cual se reglamenta la industria y comercio de los abonos o fertilizantes químicos simples, químicos compuestos, orgánicos naturales, orgánicos reforzados, enmiendas y acondicionadores del suelo, y se derogan unas disposiciones. |
| 15 | Decreto 2412 de 2018 | | Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio | Por el cual se adiciona el capítulo 7, al título 2, de la parte 3, del libro 2, del Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, Decreto 1077 del 26 de mayo de 2015, que reglamenta parcialmente el artículo 88 de la Ley 1753 de 2015, en lo referente al incentivo al aprovechamiento de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones" |
| 16 | Decreto 4741 de 2005 | | Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial- Presidente de la república de Colombia | "Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral" |

| | | | | |
|----|---------------------------------|--|--------------------------------------|---|
| 17 | Ley 142 de 1994 | | Congreso de la República de Colombia | Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. |
| 18 | Ley 1715 de 2014 | Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. | | La presente ley tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico, sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético |
| 19 | Ley 788 de 2002 | Por la cual están exentos del impuesto de renta sobre los ingresos derivados de la venta de energía eléctrica generada a partir de residuos agrícolas, fuentes eólicas y biomasa | | |
| 20 | ley 99 de 1993 | | Congreso de la República de Colombia | Por la cual se crea 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 organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. |
| 21 | Norma técnica Colombia NTC 5167 | Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo. | ICONTEC Internacional | Esta norma establece los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas o acondicionadores de suelo. |

| | | | | |
|----|-------------------------|---|---|--|
| 22 | Resolución 0150 de 2003 | | Instituto Colombiano Agropecuario – I.C.A., | <p>a) Orientar la comercialización y el uso y manejo adecuados y racionales de los fertilizantes y acondicionadores de suelos, tanto para prevenir y minimizar daños a la salud, a la sanidad agropecuaria y al ambiente bajo las condiciones autorizadas, como para facilitar el comercio internacional;</p> <p>b) Establecer requisitos y procedimientos armonizados con las reglamentaciones internacionales vigentes, tanto para el registro como para el control legal y técnico de fertilizantes y acondicionadores de suelos; especialmente en lo relacionado con terminología, clasificación, composición garantizada, etiquetado, tolerancias, contenidos mínimos permisibles y parámetros para verificación de la conformidad.</p> |
| 23 | Resolución 0276 de 2016 | | Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio | Por la cual se reglamentan los lineamientos del esquema operativo de la actividad de aprovechamiento del servicio público de aseo y del régimen transitorio para la formalización de los recicladores de oficio acorde con lo establecido en el Capítulo 5 del Título 2 de la parte 3 del Decreto número 1077 de 2015 adicionado por el Decreto número 596 del 11 de abril de 2016 |
| 24 | Resolución 0431 2020 | | Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio | “Por la cual se adopta el Plan Integral de Gestión de Cambio Climático Sectorial – PIGCCS, del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio” |
| 25 | Resolución 0661 de 2019 | | Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, a través del Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico | Por la cual se establecen los requisitos de presentación y viabilización de proyectos del sector de agua potable y saneamiento básico que soliciten apoyo financiero de la Nación, así como de aquellos que han sido priorizados en el marco de los Planes Departamentales de Agua y de los programas que implemente el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, a través del Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico, se deroga la resolución 1063 de 2016 y se dictan otras disposiciones |
| 26 | Resolución 0668 de 2016 | | Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible | Por la cual se reglamenta el uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones |
| 27 | Resolución 0938 de 2019 | | Ministro de Vivienda, Ciudad y Territorio | Por la cual se reglamenta el Decreto 1784 del 2 de noviembre de 2017 en lo relativo a las actividades complementarias de tratamiento y disposición final de residuos sólidos en el servicio público de aseo |
| 28 | Resolución 135 de 2012 | Por la cual se adoptan normas aplicables al servicio público domiciliario de gas combustible con Biogás | | Esta resolución aplica a las actividades de comercialización desde la producción, transporte, distribución y comercialización del servicio público domiciliario de gas combustible con Biogás que realice cualquiera de las personas autorizadas por el artículo 15 de la Ley 142 de 1994. |

Fuente: Elaboración propia.

5. Metodología

5.1 Con el fin de alcanzar los objetivos del proyecto se inició el desarrollo de la etapa de diagnóstico, en la cual se buscó conocer el estado actual del municipio de Pamplona, abarcando de manera general sus dinámicas de población, ámbito social, cultural, demográfico, económico y político. Se construyó una síntesis del contexto territorial como base para la toma de decisiones y se analizaron las características propias del municipio. Los aspectos mencionados anteriormente fueron identificados con el apoyo de información secundaria, como el instrumento de planeación Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT), en su versión actual y anterior dada su integralidad. Adicionalmente, con el propósito de resaltar algunos aspectos de la etapa inicial, se realizó el procesamiento de información geográfica como shapefile de municipios, veredas, barrios y manzanas a través del sistema ArcGIS, usando información del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Así mismo, se incluyeron las condiciones actuales de la gestión de los residuos sólidos en el municipio, para ello se tomó como base la guía metodológica para la formulación, implementación, seguimiento, control y actualización de Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (2014), de esta guía se destacaron los aspectos institucionales en el servicio público de aseo, recolección y transporte, aprovechamiento y disposición final. Se obtuvo la información a partir de entrevistas con funcionarios de la empresa de servicios públicos EMPOPAMPLONA S.A E.S. P, también se realizaron reuniones con el grupo consultor PANACEA encargado de la consultoría para la actualización del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) 2021, se analizaron diferentes documentos y se priorizó el histórico de la gestión, aprovechamiento o tratamiento de residuos orgánicos.

Para finalizar la primera etapa fue indispensable realizar la proyección de la población a un periodo de diseño de 25 años, sin embargo, para conocer el comportamiento de la curva poblacional se realizaron las proyecciones a 22, 25 y 30 años. Tal y como lo estipula la Guía RAS - 001 del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico se hicieron los cálculos siguiendo los lineamientos para los métodos aritmético, geométrico, exponencial y de Wappus con el objetivo de promediar los

resultados obtenidos en cada uno. Los datos iniciales necesarios para las proyecciones se obtuvieron de la biblioteca virtual para los años comprendidos entre 1964 y 2018, a pesar de que se extrajeron los datos de la población en cabecera y del sector rural las proyecciones se hicieron únicamente para la cabecera; dado que la cobertura de los servicios públicos de aseo brindada por EMPOPAMPLONA S.A E.S. P se ofrece solo para el sector urbano.

5.2 En segundo lugar, para la *etapa de caracterización de residuos sólidos* fue necesario empezar por la planificación del estudio, en donde junto con el equipo técnico se dejaron claros los aspectos logísticos, entre ellos, día de inicio, personal necesario, transporte y recolección, lugar de almacenamiento, cuadrilla de campo, materiales y equipos de protección. Esta segunda etapa abarca la composición física de los residuos sólidos en la fuente y su composición física en disposición final.

5.2.1 Composición física de residuos sólidos en la fuente:

En este ítem se tuvo en cuenta la identificación de muestras diferenciados por tipos y fuentes de generación de residuos sólidos, en donde se clasifica la generación de tipo residencial, comercial y oficial; para obtener el porcentaje de la muestra de cada uno de ellos se realizó en primera instancia el cálculo de la muestra poblacional, seguido del porcentaje de representatividad de cada sector y la ubicación de las viviendas o generadores en el municipio se distribuyó de forma aleatoria. Se tomó como espacio muestral únicamente el sector urbano dada la cobertura del servicio de aseo.

El diseño muestral consta del tamaño de la muestra, representatividad de cada sector y ubicación aleatoria de la muestra cómo se indica a continuación:

El tamaño de la muestra se calculó a partir de la ecuación 1 bajo la Guía para la caracterización de residuos sólidos municipales (2019), considerando a la población en una distribución normal como se observa a continuación:

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

Ecuación 1.

n = Tamaño muestra

N = Tamaño de población

Z = Parámetro estadístico dependiente al nivel de confianza

e = Error de estimación máximo aceptado

p = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito)

q = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

Luego se ejecutó la fase de trabajo de campo, en donde se procedió a recolectar las muestras en las viviendas escogidas, en este caso se usó una estrategia de codificación por vivienda para facilitar la distinción de cada punto seleccionado. Además, se aplicó una encuesta en cada hogar a fin de conocer aspectos generales, sociales y ambientales de los residuos sólidos generados en cada hogar y la conformación de la vivienda, este formato se puede evidenciar en la imagen representativa 4, junto a evidencias del proceso de recolección de la información en campo; la herramienta utilizada para el procesamiento de la información fue Formularios de Google. Así mismo, se incluyó la sensibilización y capacitación sobre la correcta separación en la fuente.

Imagen representativa 4.

Proceso de Recolección de la Información en Campo.

| CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS | | | |     | |
|--|--|----------------------------|--|--|--|
| 1. DATOS INICIALES | | | | | |
| Código: | | Barrio: | | Coordenada de latitud: | |
| Fecha: | | Estrato: | | Coordenada de Longitud: | |
| Dirección: | | Encuestador: | | | |
| 2. CARACTERIZACIÓN SOCIAL | | | | | |
| 1.1 Número de habitantes: _____ | | 1.2 Géneros: F ____ M ____ | | | |
| 1.3 Tipo de vivienda: Casa <input type="radio"/> Apartamento <input type="radio"/> Inquilinato <input type="radio"/> Otro <input type="radio"/> ¿Cuál?: _____ | | | | | |
| 1.4 Clasificación según la procedencia de los residuos sólidos: Residencial <input type="radio"/> Comercial <input type="radio"/> Residencial-Comercial <input type="radio"/> Institucional <input type="radio"/> Industrial <input type="radio"/> | | | | | |
| 1.5 Niveles educativos: Lee y escribe ____ Primaria ____ Secundaria ____ Técnica ____ Tecnológica ____ Profesional ____ Ninguno ____ | | | | | |
| 1.6 Edades: Menor a 18 ____ Entre 19 y 30 ____ Entre 31 y 40 ____ Entre 41 y 50 ____ Entre 51 y 60 ____ Mayor a 61 ____ | | | | | |
| 3. CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS | | | | | |
| 3.1 Frecuencia de recolección: 1 vez por semana <input type="radio"/> 2 veces por semana <input type="radio"/> 3 veces por semana <input type="radio"/> Otra <input type="radio"/> ¿Cuál?: _____ | | | | | |
| 3.2 ¿Cómo almacena los residuos sólidos? Caneca <input type="radio"/> Bolsa <input type="radio"/> Costal <input type="radio"/> Otro <input type="radio"/> ¿Cuál?: _____ | | | | | |
| 3.3 ¿Cuenta con puntos ecológicos en su hogar? Si <input type="radio"/> No <input type="radio"/> ¿Cuántos? _____ | | | | | |
| 3.4 ¿Realiza separación de los residuos sólidos en su hogar? Si <input type="radio"/> No <input type="radio"/> | | | | | |
| 3.5 ¿Cuáles residuos separa? Materia orgánica <input type="radio"/> Madera <input type="radio"/> Papel <input type="radio"/> Cartón <input type="radio"/> Vidrio <input type="radio"/> Plástico PET <input type="radio"/> Plástico <input type="radio"/> Metal <input type="radio"/> Tela o textil <input type="radio"/> Caucho o cuero <input type="radio"/> RAEE <input type="radio"/> Residuos peligrosos <input type="radio"/> Otros <input type="radio"/> ¿Cuáles? _____ | | | | | |
| 3.6 ¿Realiza aprovechamiento de los residuos sólidos en su hogar? Si <input type="radio"/> No <input type="radio"/> | | | | | |
| 3.7 ¿Cuáles residuos aprovecha? Materia orgánica <input type="radio"/> Madera <input type="radio"/> Papel <input type="radio"/> Cartón <input type="radio"/> Vidrio <input type="radio"/> Plástico PET <input type="radio"/> Plástico <input type="radio"/> Metal <input type="radio"/> Tela o textil <input type="radio"/> Caucho o cuero <input type="radio"/> RAEE <input type="radio"/> Otros <input type="radio"/> ¿Cuáles? _____ | | | | | |
| 3.8 En caso de aprovechar materia orgánica, ¿Cómo la aprovecha? _____ | | | | | |
| 3.9 ¿Recibe algún beneficio económico del aprovechamiento de los residuos sólidos en su hogar? Si <input type="radio"/> No <input type="radio"/> | | | | | |
| 3.10 ¿Tiene conocimiento de las rutas selectivas en el municipio? Si <input type="radio"/> No <input type="radio"/> | | | | | |
| 3.11 ¿Por su hogar o establecimiento pasa la ruta selectiva? Si <input type="radio"/> No <input type="radio"/> | | | | | |
| 3.12 En caso de separar los residuos sólidos, ¿Los entrega en la ruta selectiva? Si <input type="radio"/> No <input type="radio"/> | | | | | |
| Comentarios: _____ | | | | | |



Fuente: Elaboración propia.

Las muestras recolectadas fueron transportadas y almacenadas para su posterior estudio, con el objetivo de obtener datos como el peso, la densidad y composición física. Por último, se hizo un análisis de información para obtener la generación per cápita del municipio con base en el estudio de (Montoya, 2012), la composición física de los residuos y características que proyecten el potencial de

aprovechamiento de los residuos orgánicos. Esta fase se realizó en el marco de actualización del PGIRS del municipio.

Imagen representativa 5.

Proceso de Recolección, Transporte y Almacenamiento de las Muestras.



Fuente: Elaboración propia.

5.2.2 Composición física de residuos sólidos en disposición final:

En este caso el cuarteo fue el método usado para la selección de la muestra, puesto que mediante esta es posible la homogeneización de los residuos. Con la finalidad de homogeneizar la muestra, se trozaron los residuos más voluminosos hasta conseguir un tamaño manipulable, según lo establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-015 (1985).

Seguidamente, el montón se dividió en cuatro partes A, B, C, D visualmente iguales; la división se efectuó de forma aleatoria. Luego, se escogieron las dos partes opuestas A y C para formar un nuevo montón más pequeño (Norma Mexicana NMX-AA-015-1985). Posterior a ello, la muestra menor se mezcló y dividió en cuatro partes nuevamente, de las cuales se escogieron las dos opuestas y se formó una nuevamente. El proceso anterior se repitió hasta obtener una muestra de 300 a 600 Kg de residuos (Método de cuarteo, Norma Mexicana NMX-AA-015-1985).

Imagen representativa 6.

Caracterización de los Residuos Sólidos en Disposición Final.



Fuente: *Elaboración propia.*

Una vez se separó la muestra de trabajo, el restante fue llevado a la celda de disposición evitando así la proliferación de insectos y malos olores. Para determinar el peso volumétrico in situ, se tuvo en cuenta la metodología establecida en la Norma Mexicana NMX-AA-019 1985. Se pesaron los residuos sólidos en el recipiente volumétrico vacío y luego fue llenado tomando los residuos de la operación de cuarteo, escogiendo bolsas al azar que ya habían sido pesadas individualmente para vaciarse en este. Una vez lleno, se levantó el recipiente unos 10 cm tomando como punto de partida el suelo y se dejó caer tres veces, con el objetivo de llenar los espacios vacíos en el mismo; nuevamente se agregaron los residuos sólidos hasta llegar al tope señalado. Para obtener el peso neto de los residuos sólidos, se pesó el recipiente con estos y se restó el valor de la tara. El peso específico o volumétrico se define como el peso neto (Kg) de los residuos sobre el volumen ocupado en metros cúbicos.

Imagen representativa 7.

Pesaje de los Residuos Sólidos en la Fuente.



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para la composición física de residuos sólidos en la fuente y en disposición final se realizó la siguiente discriminación en el proceso efectuado en campo, tomando como referencia El título F del RAS 2000:

Tabla 2.

Distribución de los Componentes para la Clasificación Física de los Residuos Sólidos.

| Clasificación por componentes |
|--------------------------------------|
| Restos de comida |
| Huesos |
| Residuos de Jardín |
| Madera |
| Papel |
| Cartón |
| Vidrio |
| Plástico PET |
| Plástico |
| Metal |
| Tela o textil |
| Caucho o cuero |
| RAEE |
| Residuos peligrosos |
| Ordinarios |
| Especiales |

Fuente: Elaboración propia.

5.3 Planteamiento del perfil de las alternativas y análisis de las mismas

En tercer lugar se dio paso a la *etapa de análisis de alternativas para el tratamiento y valorización de los residuos orgánicos*, en ella se empezó por definir las alternativas tecnológicas con la capacidad de dar respuesta a la problemática identificada en el municipio, para ello se hizo un estudio bibliográfico minucioso sobre diferentes técnicas de valorización de residuos orgánicos a escala global y nacional; además se tomó en cuenta la información recolectada de proyectos novedosos llevados a cabo por otras empresas de servicios públicos en Colombia que implementen en su sistema de aseo el aprovechamiento y tratamiento de residuos orgánicos, así mismo se tomó como punto de apoyo la experiencia de diferentes profesionales nacionales e internacional a través de capacitaciones virtuales. Una vez definidas las tres alternativas, denominadas alternativa A, B y C en la estructura del proyecto, se analizaron los aspectos técnico, operacional, económico, ambiental, legal y social. En donde se evaluó de manera teórica cada una de ellas, de esta manera las alternativas fueron proyectadas como una posible estrategia para el tratamiento y valorización de los residuos orgánicos de Pamplona, Norte de Santander. Posteriormente se hicieron los cálculos necesarios y efectivos para completar la investigación.

5.4 Evaluación, comparación y elección de alternativas para el tratamiento y valorización de los residuos orgánicos del municipio.

En función del análisis realizado en la etapa anterior se tiene una información clara y específica sobre cada una de las alternativas, en esta última etapa se evaluó, comparó y se seleccionó la mejor alternativa basada en una calificación determinada a la experiencia del ingeniero a cargo del proyecto.

La información descrita en la etapa número tres se consolidó, de tal manera que se empezó por una evaluación en paralelo de la alternativa A, la alternativa B y la alternativa C versus los aspectos técnicos, operacionales, económicos, ambientales, legales y sociales. Posteriormente se creó una matriz, donde a cada aspecto se le asignó un valor de representatividad en donde la mayor representatividad se le atribuyó al aspecto técnico y operacional. El segundo puesto en la representatividad se le dio al aspecto económico, ambiental y legal; dejando en tercer lugar el aspecto social.

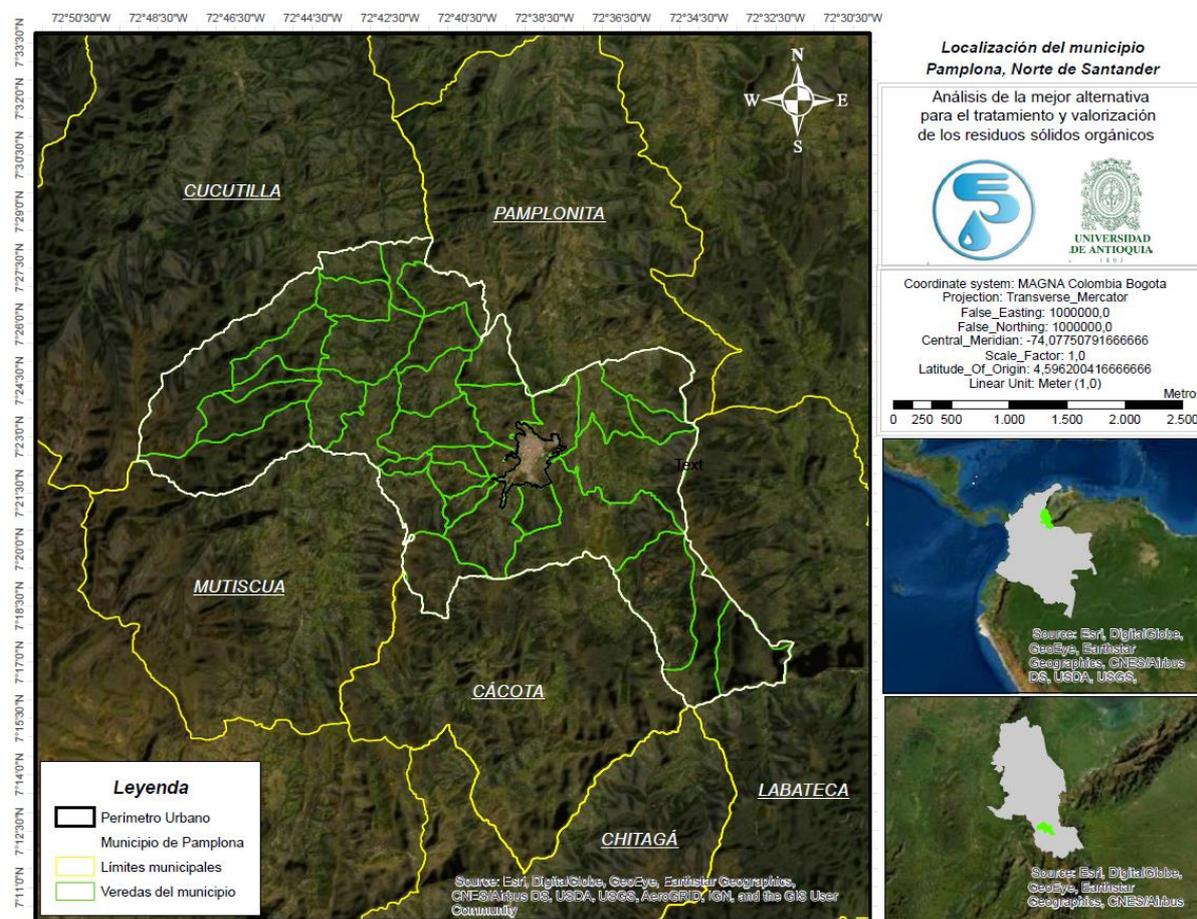
6. Resultados y Análisis

6.1 Diagnóstico general del municipio de Pamplona

El municipio de Pamplona se encuentra ubicado en jurisdicción del departamento Norte de Santander, al sur occidente de este. Su centroide tiene coordenadas 7,37917 y -72,676411 reportadas en unidades de grados decimales. La extensión total del territorio es de 298,29 kilómetros cuadrados; de la cual la zona urbana abarca 5,27 kilómetros cuadrados, es decir el 1,77% del municipio. La conformación del territorio, dada por una longitud de perímetro de 138,96 kilómetros, define como límites los municipios de Cucutilla, Pamplonita, Labateca, Chitagá, Cácosta y Mutiscua, tal y como se indica en la figura 1. La mayor extensión del municipio, es decir la zona rural, está conformada por 36 veredas, mientras que la zona urbana reporta 45 barrios basados en la división político-administrativa.

Figura 1.

Localización del Municipio de Pamplona, Norte de Santander.

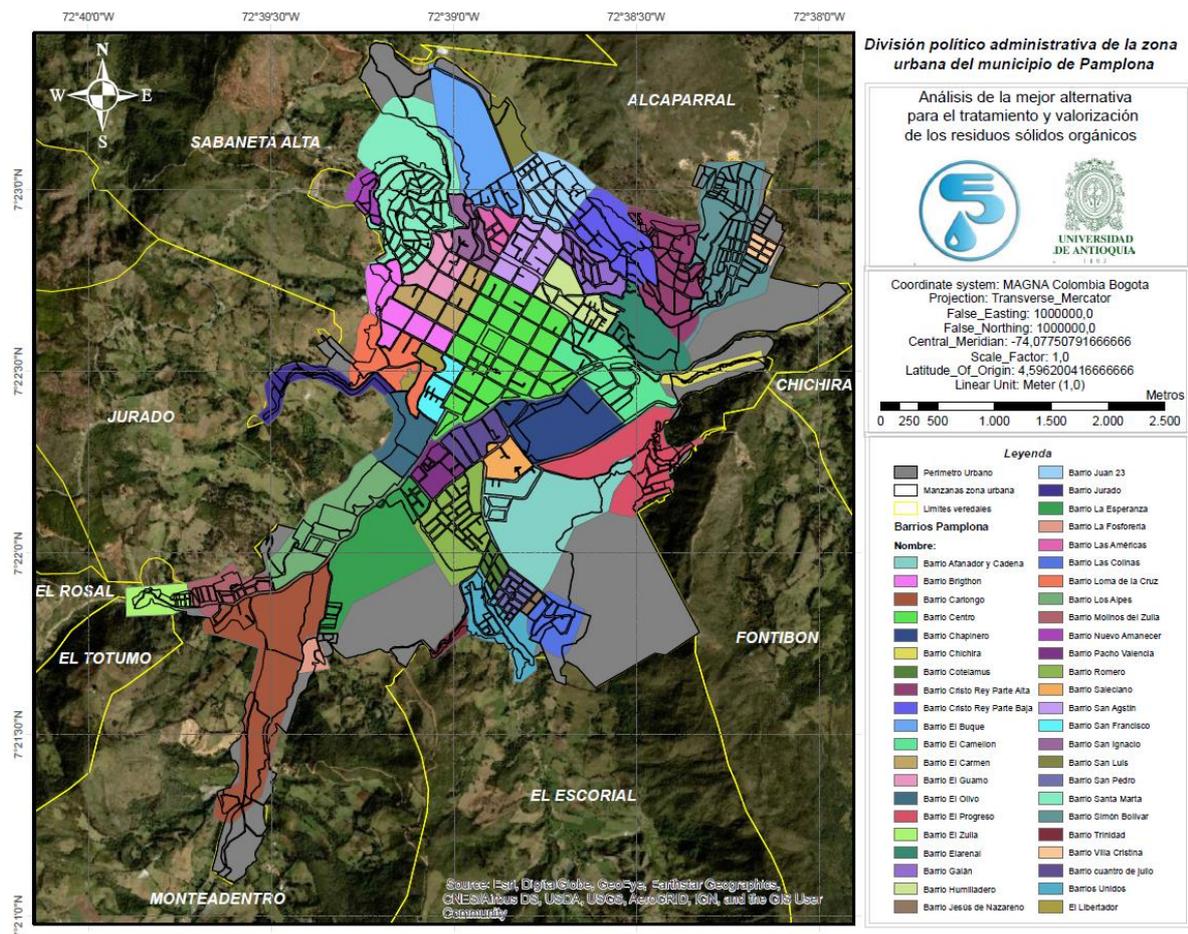


Fuente: Elaboración propia a partir de información del DANE (2018).

Dado el interés del proyecto se visualiza en la figura 2 la división político-administrativa del casco urbano, esta permite identificar de manera espacial la ubicación de cada uno de los barrios del municipio, así mismo se obtiene como dato diagnóstico la densidad poblacional, tomando como referencia la extensión de superficie de cada uno de los barrios del municipio como se especifica a continuación:

Figura 2.

División Político-Administrativa de la Zona Urbana del Municipio de Pamplona.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.

Extensión de cada uno de los barrios del municipio en metros cuadrados.

| Identificación | Nombre | Área (metros ²) | Porcentaje del territorio (%) |
|----------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| | Barrio Afanador y Cadena | 259017,87 | 5,67 |
| | Barrio Brighthon | 93205,67 | 2,04 |
| | Barrio Cariongo | 324973,33 | 7,11 |
| | Barrio Centro | 319391,04 | 6,99 |
| | Barrio Chapinero | 161002,35 | 3,52 |
| | Barrio Chichira | 34587,57 | 0,76 |
| | Barrio Cotelamus | 21468,72 | 0,47 |
| | Barrio Cristo Rey Parte Alta | 146075,68 | 3,20 |
| | Barrio Cristo Rey Parte Baja | 122031,63 | 2,67 |
| | Barrio El Buque | 182462,53 | 3,99 |
| | Barrio El Camellon | 156588,34 | 3,43 |
| | Barrio El Carmen | 69946,82 | 1,53 |
| | Barrio El Guamo | 59248,02 | 1,30 |
| | Barrio El Olivo | 71338,65 | 1,56 |
| | Barrio El Progreso | 170226,74 | 3,72 |
| | Barrio El Zulia | 47515,71 | 1,04 |
| | Barrio El arenal | 102835,97 | 2,25 |
| | Barrio Galán | 58050,32 | 1,27 |
| | Barrio Humilladero | 75465,31 | 1,65 |
| | Barrio Jesús de Nazareno | 6702,67 | 0,15 |
| | Barrio Juan 23 | 106398,86 | 2,33 |
| | Barrio Jurado | 64971,96 | 1,42 |
| | Barrio La Esperanza | 215118,92 | 4,71 |
| | Barrio La Fosforeria | 20419,98 | 0,45 |
| | Barrio Las Américas | 30124,02 | 0,66 |
| | Barrio Las Colinas | 63270,17 | 1,38 |
| | Barrio Loma de la Cruz | 99528,19 | 2,18 |
| | Barrio Los Alpes | 171057,72 | 3,74 |
| | Barrio Molinos del Zulia | 59382,92 | 1,30 |
| | Barrio Nuevo Amanecer | 29979,72 | 0,66 |
| | Barrio Pacho Valencia | 46845,79 | 1,03 |
| | Barrio Romero | 143600,55 | 3,14 |
| | Barrio Saleciano | 39109,26 | 0,86 |
| | Barrio San Agustín | 84129,36 | 1,84 |
| | Barrio San Francisco | 39814,86 | 0,87 |
| | Barrio San Ignacio | 54614,88 | 1,20 |
| | Barrio San Luis | 52731,83 | 1,15 |
| | Barrio San Pedro | 30630,04 | 0,67 |
| | Barrio Santa Marta | 304545,35 | 6,66 |
| | Barrio Simón Bolívar | 228440,76 | 5,00 |
| | Barrio Trinidad | 13827,66 | 0,30 |
| | Barrio Villa Cristina | 19167,52 | 0,42 |
| | Barrio cuatro de julio | 56424,85 | 1,23 |
| | Barrios Unidos | 94513,13 | 2,07 |
| | El Libertador | 19085,72 | 0,42 |
| | Total | 4569868,94 | 100 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.

Densidad poblacional del municipio de Pamplona.

| Identificación | Nombre | Habitantes | Área (metros ²) | Densidad Poblacional (Hab/metros ²) |
|----------------|------------------------------|------------|-----------------------------|---|
| | Barrio Afanador y Cadena | 720 | 259017,87 | 0,0028 |
| | Barrio Brighthon | 1105 | 93205,67 | 0,0119 |
| | Barrio Cariongo | 1049 | 324973,33 | 0,0032 |
| | Barrio Centro | 2732 | 319391,04 | 0,0086 |
| | Barrio Chapinero | 692 | 161002,35 | 0,0043 |
| | Barrio Chichira | 107 | 34587,57 | 0,0031 |
| | Barrio Cotelamus | 444 | 21468,72 | 0,0207 |
| | Barrio Cristo Rey Parte Alta | 1299 | 146075,68 | 0,0089 |
| | Barrio Cristo Rey Parte Baja | 1161 | 122031,63 | 0,0095 |
| | Barrio cuatro de julio | 737 | 56424,85 | 0,0131 |
| | Barrio El Buque | 885 | 182462,53 | 0,0049 |
| | Barrio El Camellon | 1114 | 156588,34 | 0,0071 |
| | Barrio El Carmen | 671 | 69946,82 | 0,0096 |
| | Barrio El Guamo | 908 | 59248,02 | 0,0153 |
| | Barrio El Olivo | 481 | 71338,65 | 0,0067 |
| | Barrio El Progreso | 800 | 170226,74 | 0,0047 |
| | Barrio El Zulia | 222 | 47515,71 | 0,0047 |
| | Barrio Elarenal | 708 | 102835,97 | 0,0069 |
| | Barrio Galán | 1143 | 58050,32 | 0,0197 |
| | Barrio Humilladero | 1170 | 75465,31 | 0,0155 |
| | Barrio Jesús de Nazareno | 140 | 6702,67 | 0,0209 |
| | Barrio Juan 23 | 1743 | 106398,86 | 0,0164 |
| | Barrio Jurado | 537 | 64971,96 | 0,0083 |
| | Barrio La Esperanza | 531 | 215118,92 | 0,0025 |
| | Barrio La Fosforeria | 63 | 20419,98 | 0,0031 |
| | Barrio Las Américas | 650 | 30124,02 | 0,0216 |
| | Barrio Las Colinas | 109 | 63270,17 | 0,0017 |
| | Barrio Loma de la Cruz | 1369 | 99528,19 | 0,0138 |
| | Barrio Los Alpes | 485 | 171057,72 | 0,0028 |
| | Barrio Molinos del Zulia | 683 | 59382,92 | 0,0115 |
| | Barrio Nuevo Amanecer | 143 | 29979,72 | 0,0048 |
| | Barrio Pacho Valencia | 620 | 46845,79 | 0,0132 |
| | Barrio Romero | 2457 | 143600,55 | 0,0171 |
| | Barrio Saleciano | 541 | 39109,26 | 0,0138 |
| | Barrio San Agustín | 1728 | 84129,36 | 0,0205 |
| | Barrio San Francisco | 333 | 39814,86 | 0,0084 |
| | Barrio San Ignacio | 1022 | 54614,88 | 0,0187 |
| | Barrio San Luis | 116 | 52731,83 | 0,0022 |
| | Barrio San Pedro | 2964 | 30630,04 | 0,0968 |
| | Barrio Santa Marta | 3834 | 304545,35 | 0,0126 |
| | Barrio Simón Bolívar | 2795 | 228440,76 | 0,0122 |
| | Barrio Trinidad | 350 | 13827,66 | 0,0253 |
| | Barrio Villa Cristina | 452 | 19167,52 | 0,0236 |
| | Barrios Unidos | 1048 | 94513,13 | 0,0111 |
| | El Libertador | 240 | 19085,72 | 0,0126 |

Fuente: Elaboración propia.

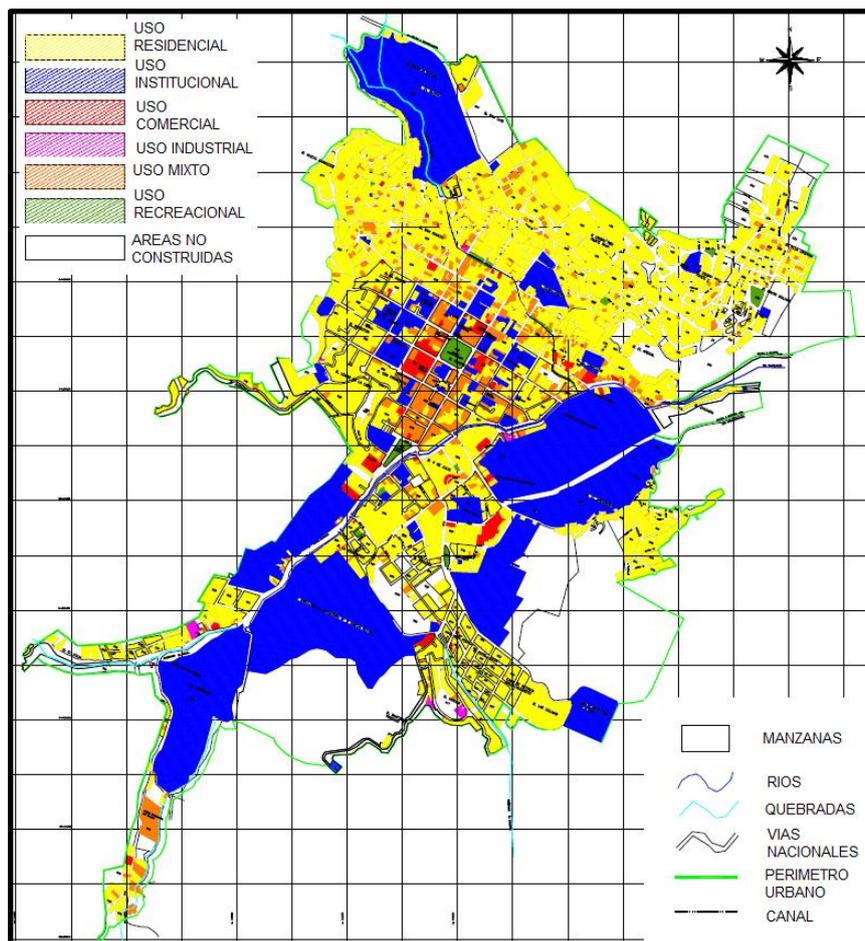
Con base en los resultados obtenidos de la tabla 3 y 4, el barrio Cariongo abarca la mayor extensión del territorio municipal; seguido por el barrio Centro y en tercer lugar el Barrio Santa Marta. En términos de densidad poblacional en primer lugar se encuentra el barrio San Pedro con una densidad poblacional de 0,0968 con unidades de habitantes sobre metros cuadrados, seguido por Barrio Trinidad y Barrio Villa Cristina con una densidad de 0,0253 y 0,0236 respectivamente, ambos valores consideran las unidades de habitantes sobre metros cuadrados. El Barrio Jesús de Nazareno es el de menor extensión, antecedido por Barrio Trinidad y El Libertador. Por otro lado, el Barrio Las Colinas es el de menor densidad poblacional, antecedido por el Barrio San Luis y La Esperanza.

Es importante resaltar que la ciudad de Pamplona se encuentra a una altitud de 2.300 m.s.n.m, característica que guarda relación inversa con la temperatura (Eslava.,1992); según el PBOT., 2015 Pamplona tiene una temperatura promedio de 15,4 °C, la cual durante el mes de mayo alcanza los 16.9 °C siendo esta la temperatura más alta reportada. Mientras que la más baja es de 12,4 °C. (PBOT., 2002) En cuanto a la climatología urbana, el territorio posee un régimen de precipitación bimodal, sus picos abarcan los meses de marzo, abril, mayo y nuevamente en septiembre, octubre y noviembre. Según el registro climatológico el dato mínimo de precipitación se reporta en febrero siendo de 1,6 mm, por otro lado, el máximo de precipitación se da en abril con 356,6 mm (PBOT., 2002). Otro dato relevante es la humedad relativa, con un 77% en promedio durante el año, diferentes estudios coinciden la influencia de este parámetro para el control del tiempo y el estado de degradación de la materia orgánica ya que, según la metodología a emplear se deberá mantener ciertos valores óptimos para el éxito del proceso (Ramos y Zuñiga, 2008; Arguello, 1991; Varnero, Santibañez y Espinosa 1987). En cuanto a la evaporación se tiene un valor medio de 65,17 mm; además, el valor máximo es de 133,5 mm en el mes de mayo y el mínimo de 57,6 mm en el mes de abril, parámetro que contribuye a las condiciones climáticas del municipio. (PBOT., 2002)

Ahora bien, se trae a colación la información sobre la distribución espacial de los usos del suelo en el casco urbano:

Figura 3.

Mapa de Usos del Suelo en el Casco Urbano.



Fuente: Tomado y modificado de CORPONOR 2009.

En la [figura 3](#), se observa que el mayor porcentaje de área corresponde al uso residencial, el uso institucional se ubica en la parte céntrica y en puntos estratégicos de las zonas periféricas de la ciudad. Los usos institucionales, comercial y mixtos se ubican en su mayoría en la zona céntrica del casco urbano. El uso industrial, aunque en menor proporción se distribuye en diferentes zonas de la ciudad. Siguiendo este orden de ideas, en el aspecto económico Pamplona se destaca por actividades relacionadas al turismo, la educación, el comercio con los municipios aledaños y por el sector de servicios; siendo el último sector el más desarrollado respecto a los demás. Para empezar el análisis de esta dimensión tenemos el sector primario enfocado en la extracción y aprovechamiento de materia prima, en el cual se toma como punto de interés el sector agrícola y pecuario.

El sector agrícola, potenciado por el sector rural tuvo un auge en 2012, donde según el PBOT 2015 se pasó de 383 hectáreas a 545 hectáreas. Los principales cultivos son los tubérculos con 152 hectáreas

sembradas de papa, seguido por frutales con 136 hectáreas de mora, 85 hectáreas de cultivos de arveja, 46 hectáreas de frijol y 43 hectáreas de zanahorias. Sin embargo, no son los únicos, a continuación, se muestra el grupo, el cultivo y las hectáreas sembradas en el municipio:

Tabla 5.

Hectáreas Sembradas en el Municipio de Pamplona.

| Grupo | Cultivo | Hectáreas sembradas |
|------------|-----------------|---------------------|
| Tubérculos | Papa | 152 |
| | Papa criolla | 97 |
| | Arracacha | 58 |
| | Yuca | 7 |
| Cereales | Maíz | 84 |
| | Trigo | 8 |
| Hortalizas | Arveja | 85 |
| | Frijol | 46 |
| | Zanahoria | 43 |
| | Haba | 10 |
| | Cebolla de rama | 7 |
| | Cilantro | 4 |
| | Ajo | 2 |
| | Repollo | 2 |
| Frutas | More | 136 |
| | Durazno | 45 |
| | Curubo | 35 |
| | Fresa | 25 |
| | Tomate de árbol | 19 |
| | Lulo | 9 |
| | Brevo | 8 |
| | Uchuva | 8 |
| | Aguacate | 5 |
| | Ciruela | 3 |

Fuente: Tomado y modificado del PBOT 2015, elaborado a partir de la Encuesta Nacional Agrícola 2012.

En el sector pecuario según el PBOT 2015, las actividades que se reportan involucran aves de corral con una participación del 37,50 %, vacunos 25,00 %, equinos 25,00 % y ovinos 12,50%.

Por otro lado, en el sector secundario, el diagnóstico se enfoca a la industria del municipio en la cual se encuentra la industria alimenticia, manufacturera, de construcción, electricidad, gas, vapor, artesanías y por último la explotación de minas y canteras. En esta instancia con la producción y transformación de la materia prima se resalta la generación de materia orgánica en la industria alimenticia.

Tabla 6.

Sector Secundario. Actividades Industriales en el Municipio de Pamplona.

| Actividad | Número de empresas | Participación (%) |
|---------------------------------|--------------------|-------------------|
| Industria alimenticia | 232 | 63,90 |
| Industria manufacturera | 68 | 18,70 |
| Industria de la construcción | 34 | 9,40 |
| Electricidad, gas, vapor | 17 | 4,70 |
| Artesanías | 11 | 3,00 |
| Explotación de minas y canteras | 1 | 0,30 |

Fuente: Tomado y modificado de PBOT 2015.

Con base en la tabla anterior, la actividad que encabeza la industria en el municipio de Pamplona es la industria alimenticia con una participación del 63,90% según datos del 2015. Esta actividad está conformada por panaderías, fábricas de dulces, salsamentarias y lácteos (quesos y yogurt).

Por último, en esta categoría se analiza en el sector terciario la actividad del comercio como se muestra a continuación:

Tabla 7.

Establecimientos Comerciales con Relación Directa e Indirecta con la Materia Orgánica, Diferenciados en su Participación al por mayor y al por menor.

| Establecimientos | Participación al por mayor (%) | Participación al por menor (%) |
|---|--------------------------------|--------------------------------|
| Bebidas y tabaco | 18,00 | 0,00 |
| Productos alimenticios | 11,00 | 6,00 |
| Materias primas, agropecuarias o animales vivos | 1,00 | 3,00 |

Fuente: Elaboración propia a partir del PBOT 2015.

En la tabla 7 únicamente se destacan los establecimientos con la comercialización de materias orgánicas, es importante aclarar que el listado de comercio en el municipio comprende gran variedad en las categorías de al por mayor y al por menor, estos se encuentran de manera detallada en el plan básico de ordenamiento territorial municipal.

6.2 Diagnóstico del sistema de servicios públicos domiciliarios sector de aseo.

Los servicios públicos domiciliarios, como se especificó en la metodología, se analizaron solamente para la zona urbana. El casco urbano cuenta con servicio de energía eléctrica prestado por la empresa Centrales Eléctricas de Norte de Santander (CENS); la cobertura en área urbana es de 99,5% y dotan energía a 14.832 usuarios y el servicio de telecomunicaciones prestado por entidades nacionales.

Los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo son responsabilidad de la empresa de servicios públicos EMPOPAMPLONA S.A E.S.P. Dado el interés del proyecto se abarca el componente del aseo bajo los parámetros de la actualización del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos establecidos por la resolución 754 de 2014, tal y como se observa a continuación:

Tabla 8.

Aspectos Institucionales del Servicio Público de Aseo.

| ITEM | PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADO | OBSERVACIONES |
|------|--|-----------------------|---|--|
| 1 | Recolección. | Municipal o regional | Municipal | EMPOPAMPLONA S.A.S. E.S.P. |
| | Transporte. | | Municipal | EMPOPAMPLONA S.A.S. E.S.P. |
| | Barrido, limpieza de vías y áreas públicas. | | Municipal | EMPOPAMPLONA S.A.S. E.S.P. |
| | Corte de césped y poda de árboles en las vías y áreas públicas. | | Municipal | EMPOPAMPLONA S.A.S. E.S.P. |
| | Transferencia. | | No aplica | |
| | Tratamiento. | | No aplica | |
| | Aprovechamiento. | | Municipal | Asociación Ambiental de Aseo y Reciclaje RENACER y Nueva Corporación Ambientalista de Ecología y Paz NUEVA CAREP |
| | Disposición final. | | Regional | EMPOPAMPLONA S.A.S. E.S.P. |
| | Lavado de áreas públicas. | | Municipal | EMPOPAMPLONA S.A.S. E.S.P. |
| 2 | Prestadores del servicio público de aseo en el municipio o distrito. | Número y denominación | (1) EMPOPAMPLONA S.A.S. E.S.P. | Prestan el servicio público de aseo en la actividad de aprovechamiento. |
| | | | (2) Asociación Ambiental de Aseo y Reciclaje RENACER | |
| | | | (3) Nueva Corporación Ambientalista de Ecología y Paz NUEVA CAREP | |

| | | | | |
|----------|--|----------------------------|--------------|--|
| 3 | Se cobra tarifa del servicio público de aseo. | Si/no | Si | Acuerdo No. 4 de 2015 por el cual se establecen las tarifas de acueducto, alcantarillado y aseo. |
| 4 | Se cuenta con estratificación socioeconómica y se aplica para el cobro del servicio público de aseo. | Si/no | Si | |
| 5 | En el caso de municipios directos prestadores indicar la clasificación del nivel de riesgo del prestador según Resolución CRA 315 de 2005 o la norma que la modifique o sustituya. | Bajo, Medio, Alto | Medio | |
| 6 | Identificar las normas expedidas por la administración municipal o distrital relacionadas con la gestión integral de residuos sólidos. | Listado de normas locales. | Si | Decreto 0048 de 2020. |

Fuente: Grupo Consultor Panacea S.A.S., 2021, a partir de información recolectada.

Tabla 9.

Aspectos de la Actividad de Recolección y Transporte.

| ITEM | PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADO | OBSERVACIONES |
|----------|---|------------------|---------------|--------------------------------|
| 1 | Cobertura | % | 98.5 | |
| 2 | Frecuencia de recolección área urbana. | veces/semana | 2 a 14 | |
| 3 | Frecuencia de recolección de rutas selectivas de reciclaje. | veces/semana | 2 a 7 | |
| 4 | Censo de puntos críticos en área urbana. | Número | 53 | |
| 5 | Distancia del centroide al sitio de disposición final. | Km | 4 | |
| 6 | Cobertura de recolección área urbana. | % en Km lineales | 95 | No se atienden vías destapadas |

Fuente: Grupo Consultor Panacea S.A.S., 2021, a partir de información recolectada.

Tabla 10.

Aspectos de la Actividad de Aprovechamiento.

| ITEM | PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADO | OBSERVACIONES |
|----------|--|--------|-----------|---|
| 1 | Cantidad de bodegas, centros de acopio y estaciones de clasificación y aprovechamiento, en la categoría de pequeño (área menor a 150 m ²). | Número | 1 | Nueva Corporación Ambientalista de Ecología y Paz NUEVA CAREP, ubicada en la Carrera 8 # 2-10 barrio Humilladero, |

| | | | | |
|---|---|--------|------|--|
| 2 | Cantidad de bodegas, centros de acopio y estaciones de clasificación y aprovechamiento, en la categoría de media no (área entre 150 y 999 m ²). | Número | 2 | Asociación Ambiental de Aseo y Reciclaje RENACER, ubicadas en el Km 3,5 vía Pamplona – Chitagá en el relleno sanitario La Cortada y en la Carrera 8 # 7 -122 barrio Chapinero, con áreas de 771 m ² y 445 m ² respectivamente. |
| 3 | Cantidad de bodegas, centros de acopio y estaciones de clasificación y aprovechamiento, en la categoría de grande (área igual o mayor a 1000 m ²). | Número | 0 | |
| 4 | Cantidad total de recicladores de oficio. | Número | 105 | |
| 5 | Cantidad de recicladores de oficio que pertenecen a algún tipo de organización, asociación o agremiación. | Número | 96 | |
| 6 | Cantidad de recicladores de oficio que pertenecen a alguna de las figuras jurídicas previstas en el artículo 15 de la Ley 142 de 1994 para prestar el servicio público de aseo. | Número | 96 | Asociación Ambiental de Aseo y Reciclaje RENACER. |
| 7 | Cobertura de rutas selectivas (Cob _{rs}) en el último año. | % | 96,6 | La Asociación Ambiental de Aseo y Reciclaje RENACER, realiza 48 rutas selectivas que cubren un total de 57 barrios del municipio. |
| 8 | Población capacitada en temas de separación en la fuente en el último año | % | 90 | |

Fuente: Grupo Consultor Panacea S.A.S., 2021, a partir de información recolectada.

Tabla 11.

Aspectos de la Actividad de Disposición Final.

| ITEM | PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADO | OBSERVACIONES |
|------|--|--|--------------------------|---------------|
| 1 | Tipo de disposición final de residuos sólidos generados en el área urbana. | Relleno sanitario, celda de contingencia, botadero, celda transitoria, cuerpo de agua, quema no controlada, etc. | Relleno sanitario | |
| 2 | Clase de sitio de disposición final. | Regional o municipal | Regional | |

| | | | | |
|----------|--|---|--|--|
| 3 | Autorización ambiental del sitio de disposición final. | Número, fecha y autoridad ambiental que expide el acto administrativo | Resolución 0222/2016 de CORPONOR. Resolución 0026 de 19/01/2020 - CORPONOR. | |
| 4 | Vida útil disponible del sitio de disposición final según la autorización ambiental. | Años | 4 | |
| 5 | Residuos sólidos (RS) generados en el área urbana que son dispuestos en un sitio de disposición final, en el último año: | % en peso | 95.7 | |

Fuente: Grupo Consultor Panacea S.A.S., 2021, a partir de información recolectada.

6.3 Proyección de la dinámica poblacional del municipio de Pamplona

En la categoría de dinámica de población se tiene en primera instancia la recopilación de la población en el histórico de censos realizados por el DANE, como se muestra en [la tabla 12](#).

Tabla 12.

Censos de Población Registrados para el Municipio de Pamplona entre 1964 y 2018.

| Información Inicial | | | | | |
|---------------------|-----------------|-----------------------|-------------------------|----------|---------|
| Año | Población total | Población en cabecera | Población en zona rural | % urbano | % rural |
| 1964 | 30396 | 25502 | 4894 | 83,90 | 16,10 |
| 1973 | 48485 | 31889 | 16596 | 65,77 | 34,23 |
| 1985 | 41773 | 35058 | 6715 | 83,93 | 16,07 |
| 1993 | 45283 | 37829 | 7454 | 83,54 | 16,46 |
| 2015 | 53147 | 48575 | 4572 | 91,40 | 8,60 |
| 2018 | 50025 | 46013 | 4012 | 91,98 | 8,02 |

Fuente: Elaboración propia a partir de información del DANE.

En Pamplona la población total registrada para el último censo del DANE año 2018 fue de 50.025 habitantes, la población en perímetro urbano representaba el 91,98 % de la población total con 46.013 habitantes y en la zona rural 4.012 habitantes siendo esto el 8,02% del total de población. Tomando como referencia [la tabla 12](#), se observa un crecimiento poblacional desde el primer censo de 1964 hasta el 2015, posteriormente en el año 2018 la población muestra decrecimiento de 3.122 habitantes con

respecto a la población total, sin embargo se conserva siempre la mayor proporción de habitantes en la zona urbana; para el año 2015 y 2018 la proporción de área urbana fue la mayor respecto años anteriores reportándose por encima del 91%, en el año 1973 se reportó la menor proporción en el área urbana siendo el 65% de la población total, sin embargo la mayor población siempre en la cabecera municipal. Conforme al objetivo del estudio se proyecta la población únicamente en el perímetro urbano, ya que la empresa de servicios públicos tiene como área de cobertura únicamente la zona urbana. A continuación, se presenta cada una de las tablas con la proyección de población para 3 años calculada bajo cuatro diferentes métodos, proyectada a 22 años, 25 años y 30 años desde el año en curso 2021:

Tabla 13.

Proyección de población para los años 2043, 2046 y 2051; método aritmético.

| Método Aritmético | |
|--------------------------|------------------------------|
| Año | Población en cabecera |
| 1964 | 25502 |
| 1973 | 31889 |
| 1985 | 35058 |
| 1993 | 37829 |
| 2015 | 48575 |
| 2018 | 46013 |
| 2043 | 55509 |
| 2046 | 56648 |
| 2051 | 58548 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14.

Proyección de población para los años 2043, 2046 y 2051; método geométrico.

| Método Geométrico | |
|--------------------------|------------------------------|
| Año | Población en cabecera |
| 1964 | 25502 |
| 1973 | 31889 |
| 1985 | 35058 |
| 1993 | 37829 |
| 2015 | 48575 |
| 2018 | 46013 |
| 2043 | 60470 |
| 2046 | 62486 |
| 2051 | 65995 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15.

Proyección de población para los años 2043, 2046 y 2051; método de Wappauss.

| Método Wappaus | | |
|----------------|-----------------------|------------|
| Año | Población en cabecera | i |
| 1964 | 25502 | 1,06224801 |
| 1973 | 31889 | |
| 1985 | 35058 | |
| 1993 | 37829 | |
| 2015 | 48575 | |
| 2018 | 46013 | |
| 2043 | 62374 | |
| 2046 | 64854 | |
| 2051 | 69315 | |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16.

Proyección de población para los años 2043, 2046 y 2051; método exponencial.

| Método Exponencial | | | |
|--------------------|-----------------------|---------|------------|
| Año | Población en cabecera | k | k promedio |
| 1964 | 25502 | | 0,01648 |
| 1973 | 31889 | 0,01515 | |
| 1985 | 35058 | 0,00854 | |
| 1993 | 37829 | 0,01087 | |
| 2015 | 48575 | 0,00783 | |
| 2018 | 46013 | 0,04001 | |
| 2020 | 59334 | | |
| 2043 | 69477 | | |
| 2046 | 72999 | | |
| 2051 | 79270 | | |

Fuente: Elaboración propia.

Posterior a estos cálculos se obtiene el consolidado final, promedio de la población proyectada para los años 2043, 2046 y 2051:

Tabla 17.

Proyección de Población en Perímetro Urbano para los Años de 2043, 2046 y 2051, Información Final en la cual se Promediaron los Métodos Anteriores.

| Consolidado Final | |
|-------------------|-----------------------|
| Año | Población en cabecera |
| 1964 | 25502 |
| 1973 | 31889 |
| 1985 | 35058 |
| 1993 | 37829 |
| 2015 | 48575 |
| 2018 | 46013 |
| 2043 | 61957 |
| 2046 | 64247 |
| 2051 | 68282 |

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 1.

Crecimiento y Proyección de la Población para los Años 2043, 2046 y 2051.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18.

Estrato Socio Económico Reportado por Familias en el Perímetro Urbano.

| Estrato | Familias (%) |
|---------|--------------|
| 0-1 | 37,92 |
| 2 | 43,76 |
| 3 | 16,32 |
| 4 | 2,00 |

Fuente: Tomado y modificado del PBOT 2015, elaborado a partir de la oficina del SISBEN municipal.

Con base en la [tabla 18](#), se puede identificar que los estratos 0, 1 y 2 comprenden el 81.68% de las familias del municipio. El estrato más alto del municipio llega a nivel 4 y solo el 2% de las familias se encuentran en este eslabón.

6.4 Caracterización de los residuos sólidos del municipio

6.4.1 El tamaño de la muestra representativa

El tamaño de la muestra representativa se obtiene con base en la [ecuación 1](#). Para estos parámetros se considera una confiabilidad del 95% y un error relativo del 5%. El parámetro p corresponde a 95%, obteniendo así un nivel de confianza de 1,95. Usando la [ecuación 1](#) se obtuvo una muestra correspondiente a 148 usuarios, adicionalmente tomando como base la representatividad de cada sector, se definió la muestra sectorizada para domiciliarios y no domiciliarios así:

Tabla 19.

Distribución por Sectores del Tamaño Total de la Muestra Poblacional.

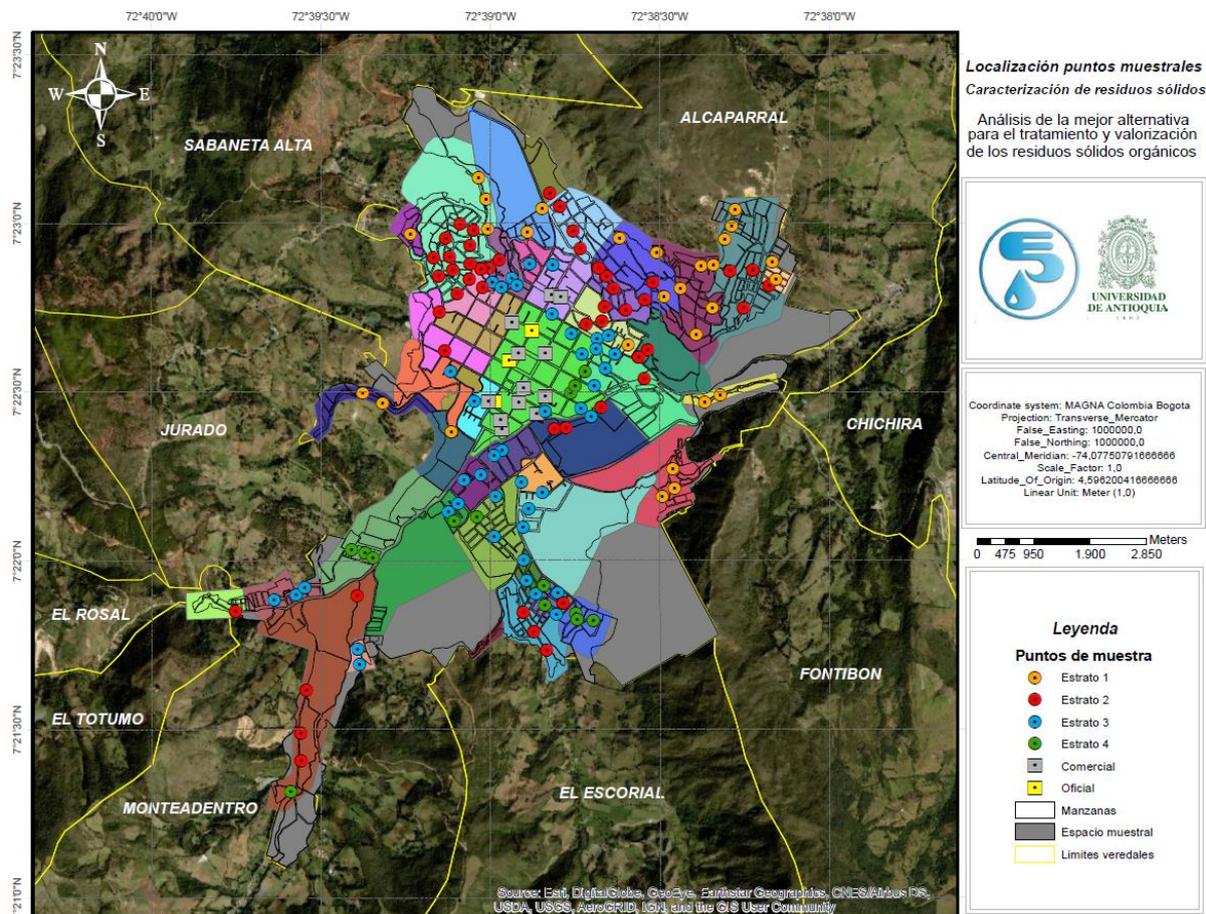
| Sector | Identificación | Sub-Clasificación | Usuarios | Representatividad (%) | Muestra |
|------------------------------------|----------------|-------------------|----------|-----------------------|------------|
| Domiciliario | | Estrato 1 | 3080 | 19,84 | 28 |
| | | Estrato 2 | 5312 | 34,21 | 50 |
| | | Estrato 3 | 4317 | 27,80 | 40 |
| | | Estrato 4 | 1582 | 10,19 | 15 |
| Sub total domiciliarios: | | | | | 133 |
| No domiciliario | | Comercial | 1125 | 7,25 | 12 |
| | | Oficial | 110 | 0,71 | 3 |
| Población total: | | | 15526 | 100 | |
| Sub total no domiciliarios: | | | | | 15 |
| Muestra total: | | | | | 148 |

Fuente: *Elaboración propia.*

Tomando como referencia la [tabla 19](#), se ubicó la muestra estimada según el sector y su subclasificación de manera aleatoria sobre el espacio muestral, nos aseguramos de obtener una distribución en cada uno de los barrios del casco urbano considerando los estratos, este dato fue proporcionado por el municipio de Pamplona en su plano de estratificación. La ubicación final de los puntos muestrales se observa en la figura siguiente:

Figura 4.

Localización Puntos Muestrales, Proyecto de Caracterización de Residuos Sólidos.



Fuente: *Elaboración propia.*

6.4.2 A través de la información inicial recolectada en campo mediante la encuesta a cada vivienda, se obtuvieron los siguientes resultados en la categoría social:

La muestra representativa tomada para el proceso de caracterización deja ver la distribución de la población por sexo, edad y nivel educativo. En el gráfico 2 se observa que el 55% de los habitantes están identificados en el grupo de mujeres y el 45% en el grupo de los hombres. El primer grupo sobresale con un 10% más en comparación a los hombres.

Gráfico 2.

Distribución de los Habitantes por Sexo



Fuente: *Elaboración propia.*

Sumado a lo anterior se encuentra la distribución por edad, donde los grupos se dividen en menor a 18 años con el 22%, entre 19 y 30 años el 20%, entre 31 y 40 años el 15%, entre 41 y 50 años el 12%, entre 51 y 60 años 15% y el grupo mayor a 60 años con un porcentaje de representatividad del 15%. La conformación de un gran grupo de edad conformado entre los mayores a 18 y menores de 60 hacen parte el 62% de la población. Si se hace un análisis entre los dos grupos más jóvenes de 0 a 30 años conforman el 42% de la población, los siguientes dos grupos de 31 a 50 años corresponden al 27 % y de 51 en adelante conforman el 30%; resultado el grupo de los jóvenes con el mayor porcentaje. Tal y como se muestra a continuación:

Gráfico 3.

Distribución de los habitantes por edad.

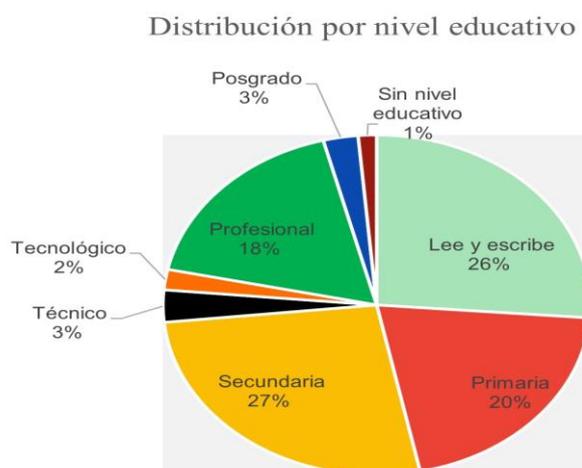


Fuente: *Elaboración propia.*

Por último, en este análisis social se trae a colación el nivel educativo de los habitantes, el gráfico 4 ubica en el mayor porcentaje el nivel educativo en secundaria, lo que indica que este es el máximo nivel educativo del 27% de la población, El máximo del 26% de los habitantes es el nivel: leen y escriben y el 20% en primaria. El máximo nivel educativo en las categorías de Posgrado y Profesional suman 21 % de los habitantes de la muestra representativa. Los niveles de técnico y tecnológico abarca el 3% y 2% respectivamente y la población en sin nivel educativo son el 1%.

Gráfico 4.

Distribución de los Habitantes por Nivel Educativo.



Fuente: *Elaboración propia*

6.4.3 En la categoría ambiental se obtuvo información sobre la generación, disposición, separación y aprovechamiento de residuos sólidos en las viviendas; así como, aspectos del servicio de recolección y transporte de disposición final y el sistema de aprovechamiento de residuos del municipio.

Los gráficos a continuación dan a conocer la gestión, aprovechamiento y destino final de los residuos sólidos en los hogares del municipio de Pamplona. Empezando el gráfico 5 da a conocer que el 70%

deposita sus residuos en bolsa, la segunda opción que manejan es canecas con el 26 % y caja o costal 2% cada uno.

Gráfico 5.

Almacenamiento de Residuos Sólidos en las Viviendas.



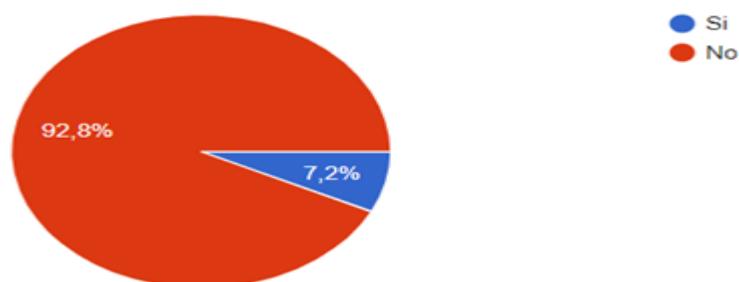
Fuente: Elaboración propia

Así mismo en el gráfico 6, se identifica que el 92,8% de los habitantes no cuentan con puntos ecológicos, es decir, con una zona demarcada y señalizada con los diferentes recipientes para la separación y aprovechamiento de los residuos sólidos.

Gráfico 6.

Respuesta a la pregunta: ¿Cuenta con puntos ecológicos en su hogar?

¿Cuenta con puntos ecológicos en su hogar?

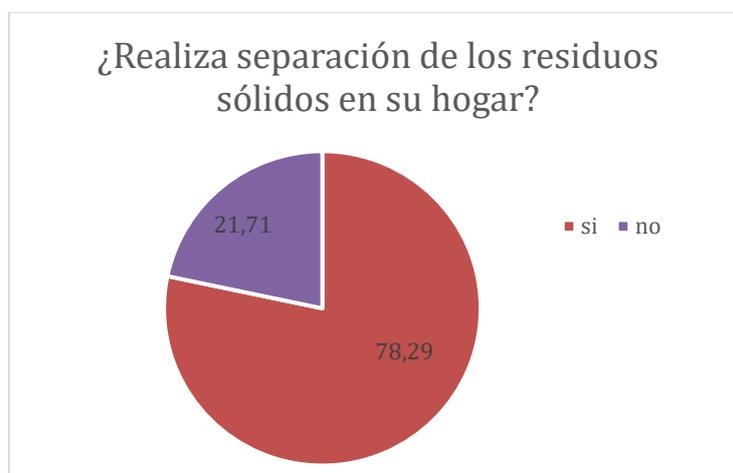


Fuente: *Elaboración propia.*

Sin embargo, a pesar de que solo el 7,2% cuenta con puntos ecológicos correctamente demarcados el gráfico 7 da a conocer que el 78,29% realiza la separación de los residuos sólidos en su hogar; de esta población a partir del gráfico 8 se sitúa al plástico en primer lugar con (23%), seguido del cartón (22%), el papel (20%), plástico PET (17%), materia orgánica (8%) y vidrio (8%), el resto de los componentes indican un porcentaje menor al 2%.

Gráfico 7.

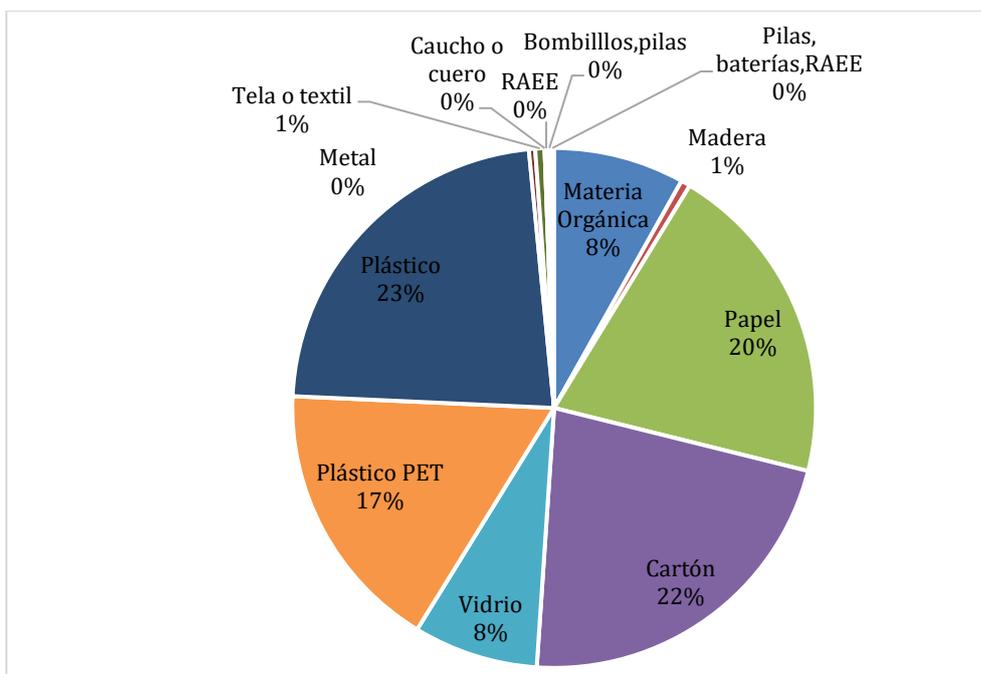
Respuesta a la pregunta: ¿Realiza separación de los residuos sólidos en su hogar?



Fuente: *Elaboración propia.*

Gráfico 8.

Respuesta a la pregunta: ¿Cuáles residuos separan?

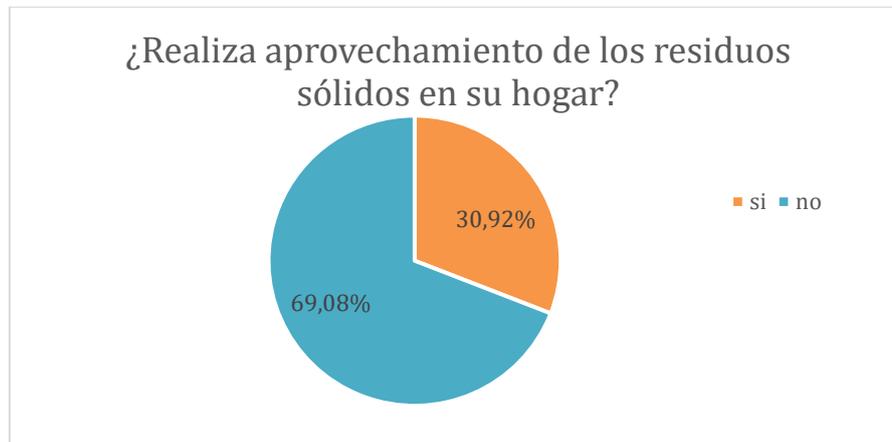


Fuente: *Elaboración propia.*

Los gráficos 9,10 y 11 hacen mención del tema de aprovechamiento de residuos sólidos dentro de su hogar, en respuesta a la pregunta ¿Realiza aprovechamiento de los residuos sólidos en su hogar? el 69,08% tuvo una respuesta negativa y el 30,92% afirmativa. De este último porcentaje se tiene que el residuo sólido que aprovechan en mayor porcentaje es la materia orgánica con un 42,53%; como información adicional se tiene según el gráfico 11 que los tipos de aprovechamiento de materia orgánica que se dan en el municipio son Alimentos de animales un 51%, Jardín con 33%, para ambos usos de alimentos animales y jardín 8%, lombricultura 5% y compostaje 3%. Otros materiales que son aprovechados dentro del hogar corresponden al plástico PET (17,24%), plástico (13,79%), papel (10,34%) y cartón (8,05%).

Gráfico 9.

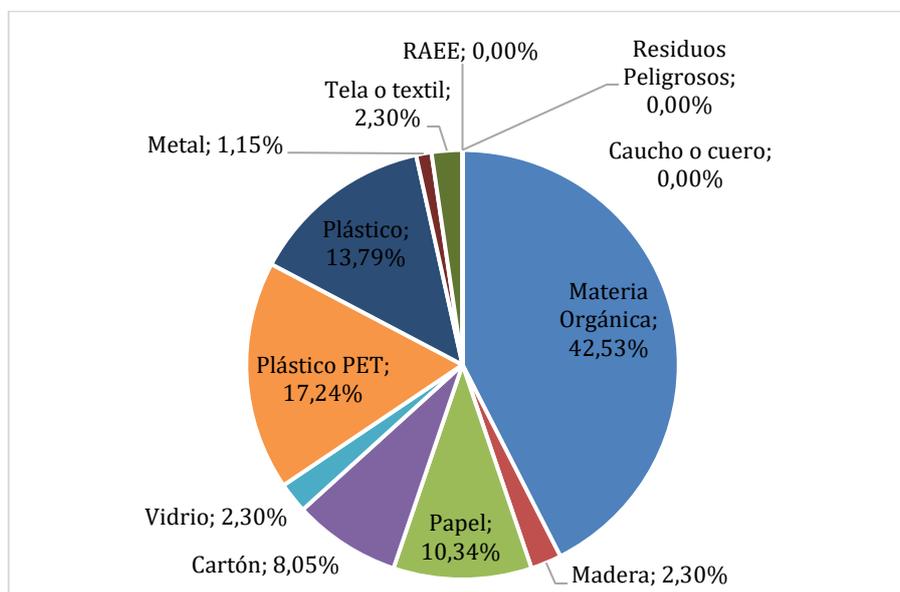
Respuesta a la pregunta: ¿Realiza aprovechamiento de los residuos sólidos en su hogar?



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 10.

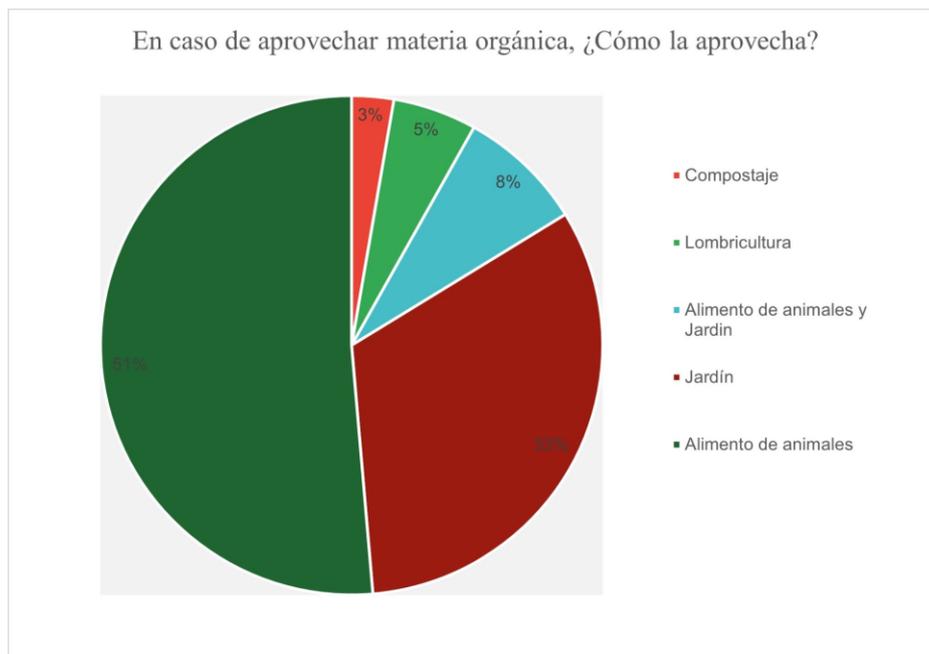
Respuesta a la pregunta: ¿Cuáles residuos aprovecha?



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 11.

Respuesta a la pregunta: En caso de aprovechar materia orgánica, ¿Cómo la aprovecha?

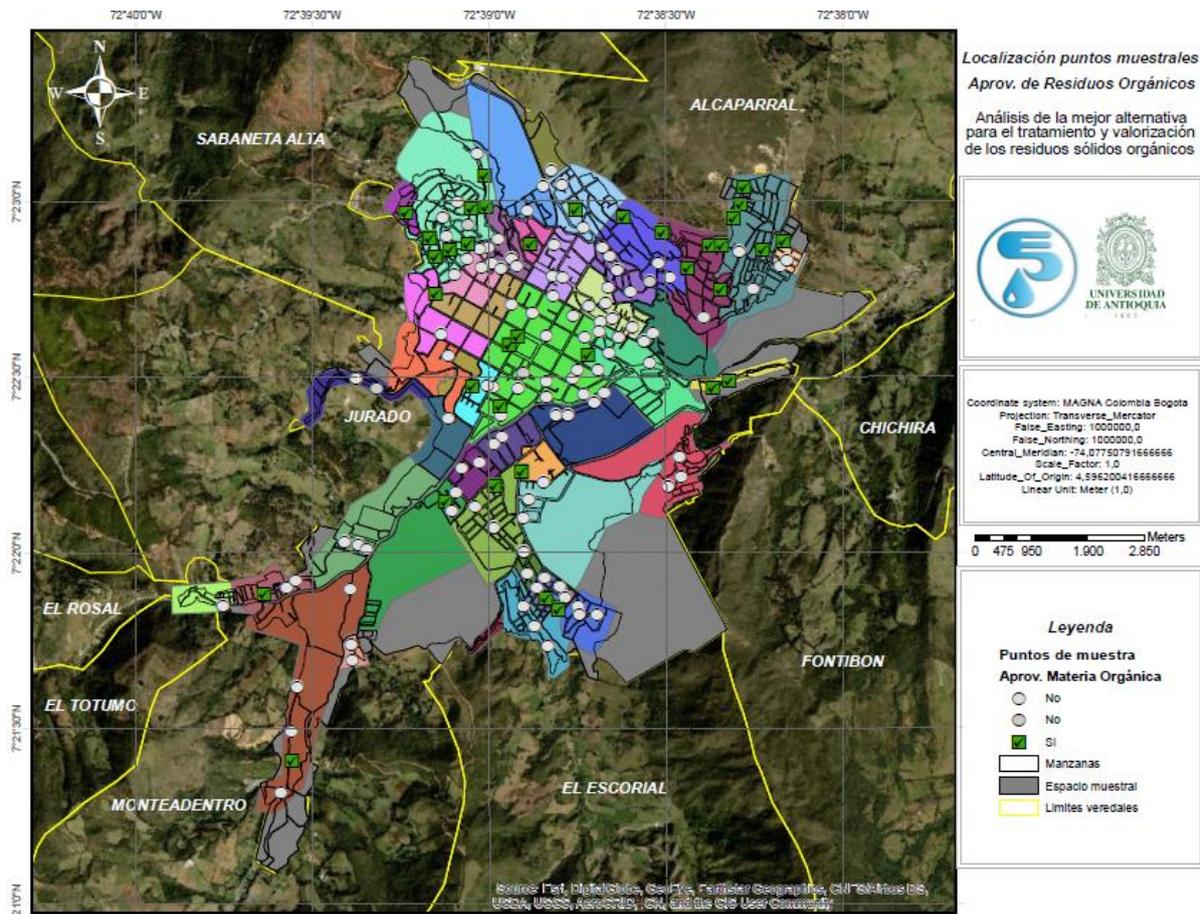


Fuente: *Elaboración propia.*

En el gráfico 10 se observa que el 42,53% de la población de muestra realiza aprovechamiento de materia orgánica en su hogar. Haciendo un análisis por estratos socioeconómicos, se tiene que de la muestra tomada para el estrato 1, el 53,57% realiza aprovechamiento de residuos orgánicos en su hogar; para el estrato 2 el 20,00%, para el estrato 3 el 17,07% y el estrato 4 con menor porcentaje de aprovechamiento con el 13,33% de la población encuestada. Identificando que a mayor estrato menor aprovechamiento de residuos orgánicos. La figura 5 muestra gráficamente la ubicación de las viviendas que realizan aprovechamiento de residuos orgánicos, donde se corrobora que los barrios periféricos ubicados al norte del municipio tienen mayor representatividad a la hora de aprovechar los residuos orgánicos. En el barrio centro se identifican otros puntos en el sector de comercio y residencial. Al sur del municipio hay menor aprovechamiento sin embargo existen viviendas que realizan esta actividad.

Figura 5.

Localización Puntos Muestrales, Aprovechamiento de los Residuos Orgánicos.



Fuente: Elaboración propia.

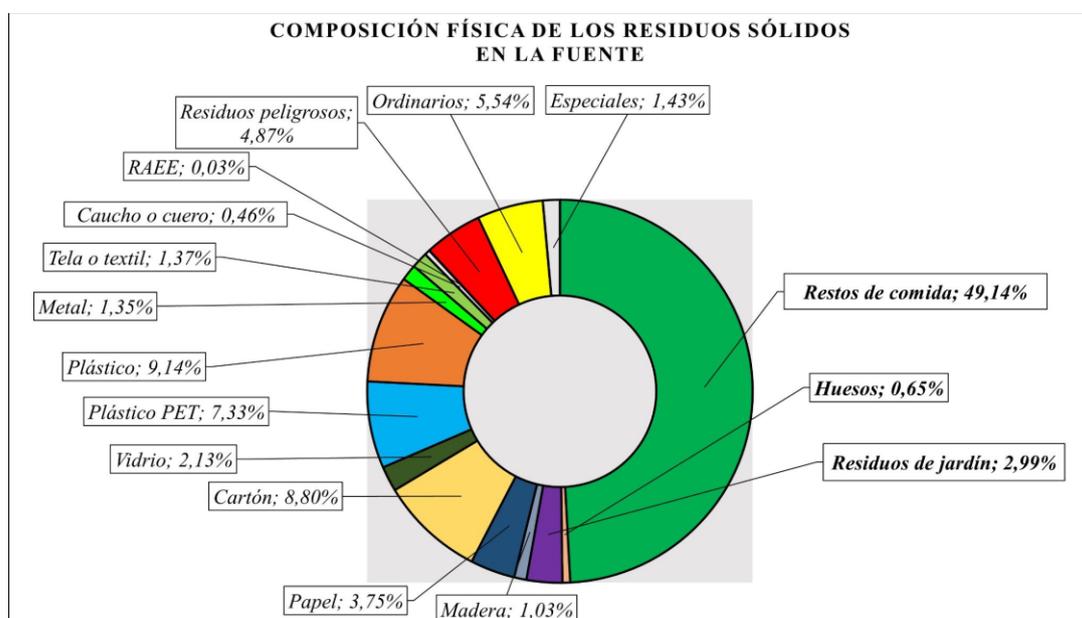
6.4.4 Composición física de los residuos sólidos del municipio, los resultados de la composición física realizada en campo serán presentados a continuación, diferenciados en composición física de generación en la fuente y disposición final.

Como resultado del trabajo de composición física hecha en campo se obtuvieron los siguientes resultados, en primer lugar tenemos los residuos sólidos generados en la fuente bajo los parámetros descritos en la metodología, el gráfico 12 dan cuenta del porcentaje diferenciado por tipo de residuos; en donde se encuentra que el mayor porcentaje corresponde a los restos de comida (49,14%), que junto con huesos (0,65%) y residuos de jardín (2,99%) conformar el 52,78% en la categoría de materia orgánica. Lo cual indica que más de la mitad de los residuos sólidos generados en la fuente, son orgánicos.

Además, se resalta la generación de Plástico (9,14%), Cartón (8,80%), Plástico PET (7,33%) con ese respectivo orden. Los residuos ordinarios abarcan el 5,54% y los residuos peligrosos un 4,87 %; para este caso es importante resaltar que en la categoría de residuos peligrosos incluye residuos sanitarios y residuos generados por la pandemia como tapabocas, guantes, toallas u otros contaminados por algún fluido. Aquellos que tienen menor representatividad son residuos de madera, metal, tela o textil, caucho o cuero, especiales y RAEE.

Gráfico 12.

Composición Física de los Residuos Sólidos en el Municipio de Pamplona en la Fuente.



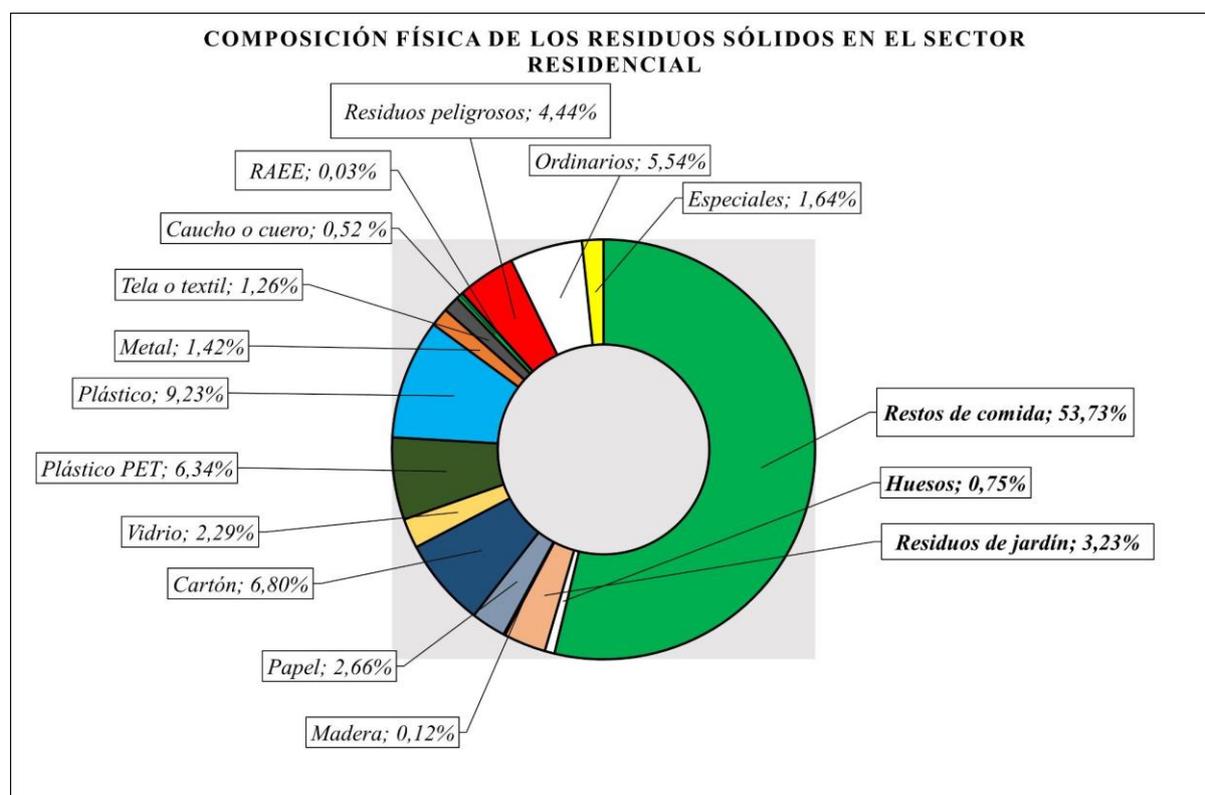
Fuente: *Elaboración propia.*

Con miras de conocer la generación por sectores, se empieza por el residencial como lo muestra el gráfico 13; en sus estratos 1, 2, 3 y 4. En este sector los residuos orgánicos abarcan el 57,71% integrado por residuos de comida, huesos y residuos de jardín. Otros residuos como el Plástico (9,23%), Cartón (6,80%), Plástico PET (6,34%) siguen en la lista de la generación residencial. Así mismo, los residuos ordinarios con 5,54 %, residuos peligrosos con 4,44%, papel con 2,66% y vidrio con 2,29%. Los residuos especiales en el sector residencial caracterizados por escombros o residuos de construcción constituyen el 1,64%. En los gráficos se destaca el porcentaje de representación para los residuos con

un porcentaje menor a 1,50%. En la categoría de RAEE se reporta 0,03%, indicando que estos residuos no participan en el ciclo de reincorporación al sistema productivo y contribuyen a generar impactos al medio ambiente.

Gráfico 13.

Composición Física de los Residuos Sólidos en el Sector Residencial.



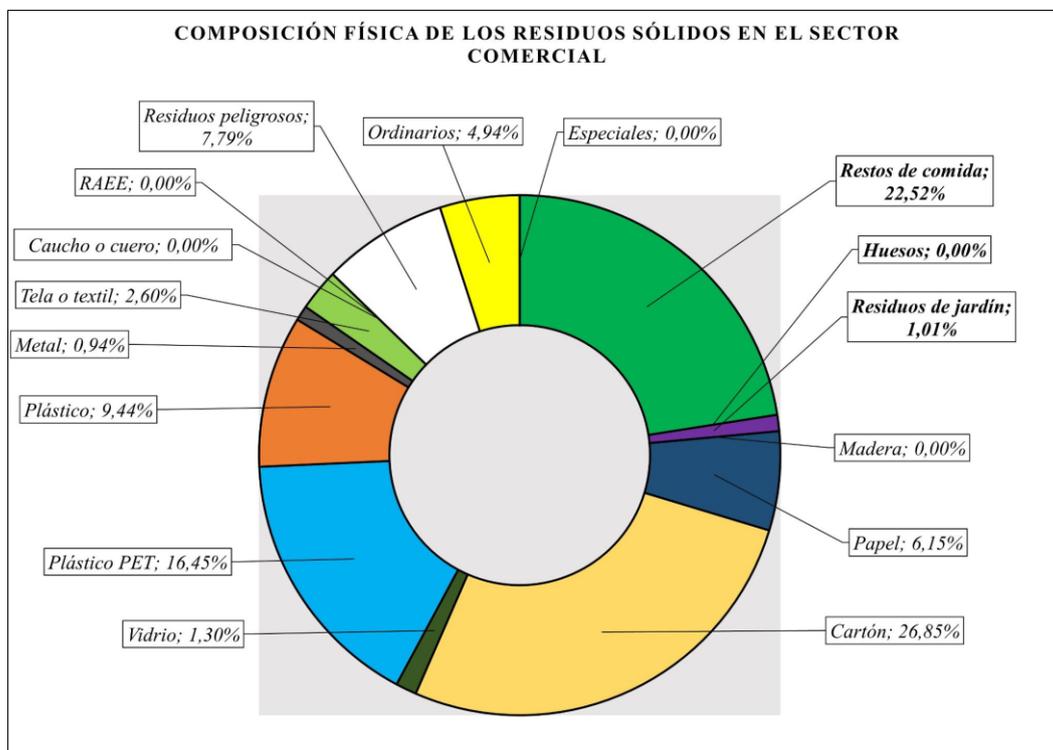
Fuente: *Elaboración propia.*

El sector comercial encabezado por actividades de ventas de electrodomésticos, aparatos y equipos de uso doméstico; bebidas y tabacos; productos alimenticios; telas y plásticos; farmacéuticos, medicinas, entre otras ventas que generan la producción de los residuos que se identifica en el [gráfico 14](#). El cartón, tiene la mayor participación en la composición física, abarcando 26,85 %, seguido de residuos de comida con un 22,52 %, plástico PET con 16,45 %, plástico con 9,44% y papel 6,15%. Los residuos peligrosos alcanzan la cifra de 7,79% lo cual incluye residuos tipo sanitarios e insumos con fluidos bajo

esta situación de pandemia. No se reporta participación alguna en residuos tipo huesos, madera, caucho o cuero ni residuos especiales durante la caracterización realizada.

Gráfico 14.

Composición Física de los Residuos Sólidos en el Sector Comercial.

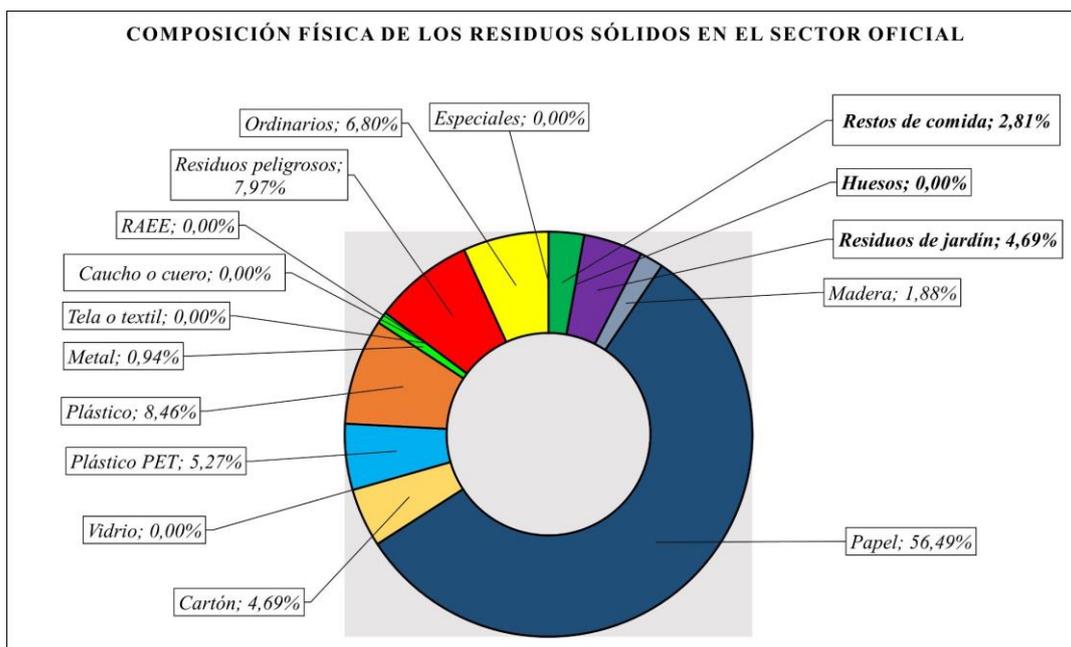


Fuente: Elaboración propia.

En el sector oficial los residuos sólidos con mayor participación corresponden a el papel con 56,49%, plástico con 8,46%, residuos peligrosos en los que se incluye papel sanitario y residuos de pandemia 7,97%, la conformación de materia orgánica llegan a 7,50%, ordinarios 6,80%, plástico PET 5,27%, cartón 4,69. La composición más baja la lleva la madera 1,88% y metal 0,94% ; por otro lado vidrio, tela o textil, caucho o cuero, RAEE y especiales no contempla participación durante la caracterización realizada según lo evidencia el [gráfico 15](#).

Gráfico 15.

Composición Física de los Residuos Sólidos en el Sector Oficial.

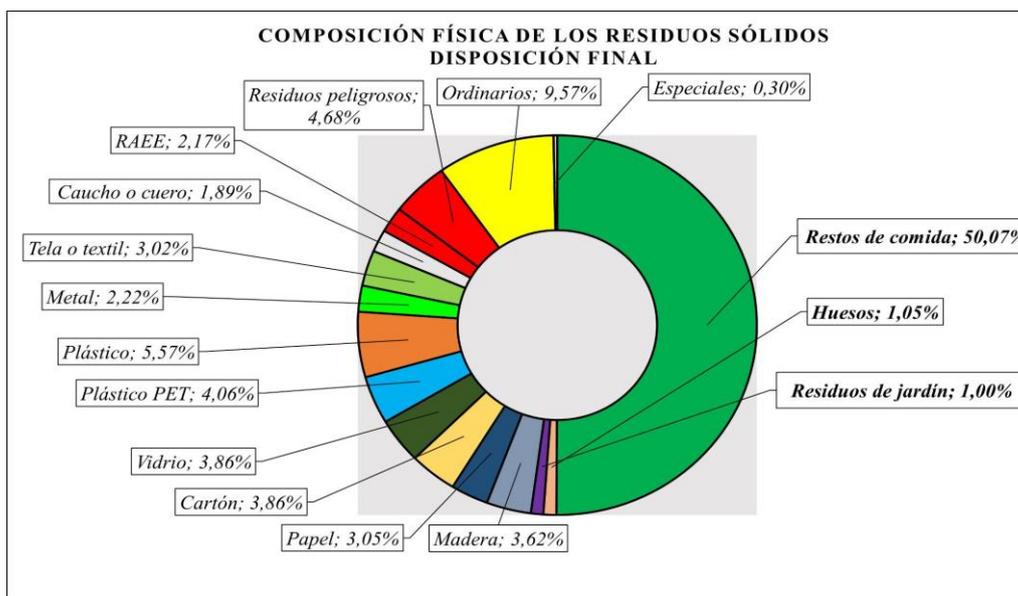


Fuente: Elaboración propia.

Por último, en la disposición final los residuos correspondientes a materia orgánica son los que tuvieron el mayor porcentaje de generación con un 52,12 % de los cuales los residuos de comida ocupan el mayor porcentaje 50,07%, huesos con 1,05% y residuos de jardín 1,00%. Los residuos ordinarios tuvieron un porcentaje considerable de generación (9.57 %), seguido del plástico (5,57 %), residuos peligrosos (4,68 %) y plástico PET (4,06 %). Por su parte, los residuos de madera, papel, cartón, vidrio, tela o textil, RAEEs, metal, caucho o cuero, huesos y residuos de jardín ocupan porcentajes de generación menor al 4,00 % y los residuos especiales se generaron en un 0,30 %.

Gráfico 16.

Composición Física de los Residuos Sólidos en Disposición final.



Fuente: Elaboración propia.

6.4.5 Cálculo de la Generación Per Cápita de los residuos del municipio de Pamplona sector residencial.

Según la línea base para el año 2015 se registró una GPC de 0,55 kg/habitante-día, con base en los estudios realizados para el presente año 2021 y en apoyo del trabajo de composición física de residuos sólidos del municipio realizada en el marco de actualización de PGIRS municipal, se obtuvo una Generación Per Cápita de 0,57 kg/habitante-día, evidenciando un aumento en la generación de residuos sólidos. En la misma proporción y con referencia a la misma metodología, se obtuvo una Generación Per Cápita de 0,33 kg/habitante-día para la generación de residuos sólidos orgánicos.

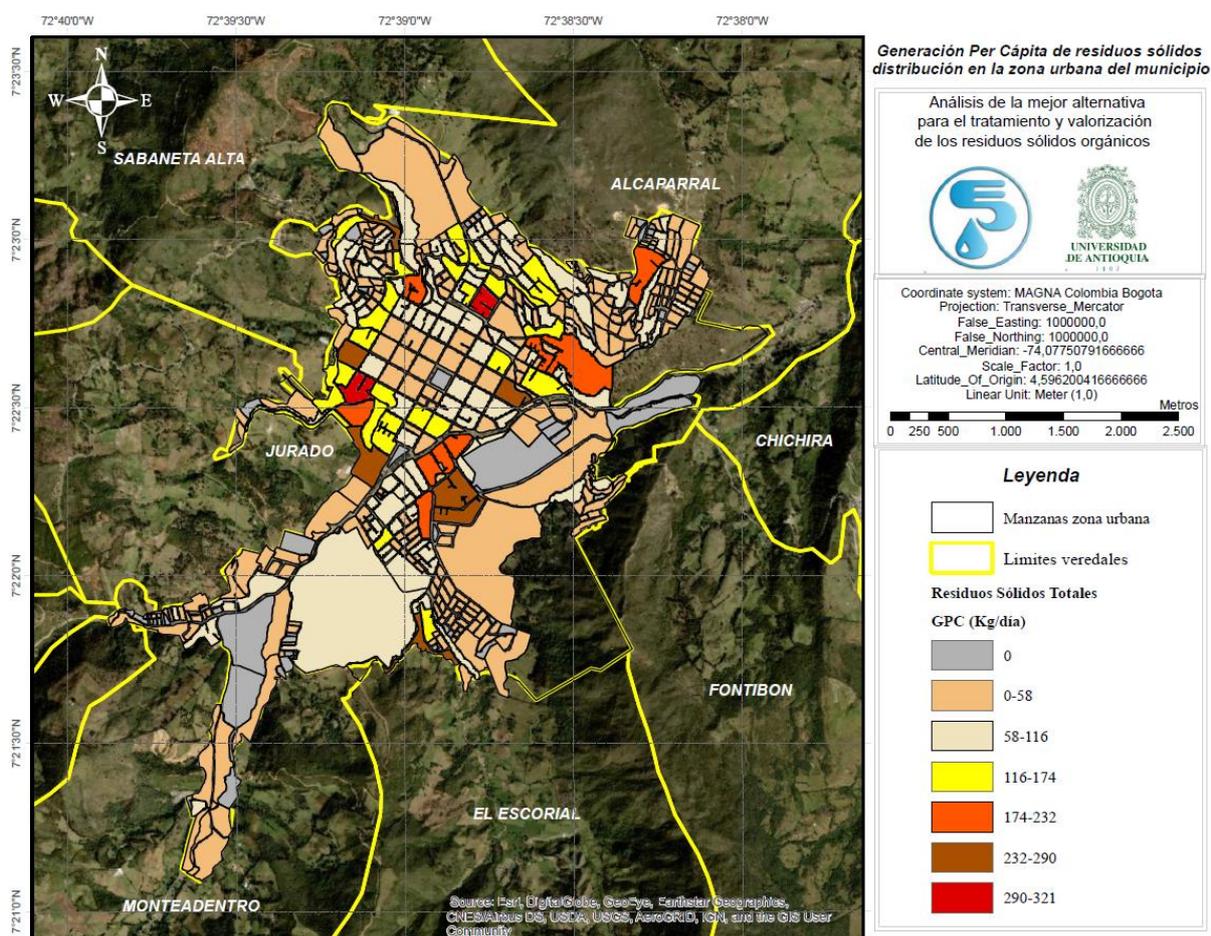
La generación de residuos sólidos en la fuente se distribuye en el casco urbano como se observa en la [figura 6](#) y en la [figura 7](#); estos cálculos fueron realizados a partir de los datos de GPC 2021 y según datos estadísticos de censos por manzana para el municipio de Pamplona.

[La figura 6](#) muestra los sectores residenciales con mayor generación en el municipio, según el análisis geográfico los barrios colindantes al barrio Centro reportan la mayor generación. Barrios como Loma de la Cruz, parte del barrio El Olivo, Barrio San Francisco, El libertador, parte baja del barrio Brighton, parte alta de El Carmen, sector El Guamo, barrio San Ignacio, San Agustín, sector seleccionado de Simón Bolívar El Arenal y El Camellón. Los anteriores barrios están ubicados en la parte norte del municipio, delimitada por el río Pamplonita que atraviesa el municipio de oeste-sur a este. Por otro lado,

los barrios Cuatro de Julio, Saleciano y un sector del barrio Romero; también se resalta barrios Unidos y La Trinidad por su generación de residuos sólidos; ubicados al sur del municipio. La descripción anterior está ubicada por encima de los 174 kilogramos/día, la figura 6 permite conocer con exactitud la generación por manazas en el municipio de Pamplona.

Figura 6.

Generación Per Cápita de Residuos Sólidos, Distribución en la Zona Urbana del Municipio de Pamplona.



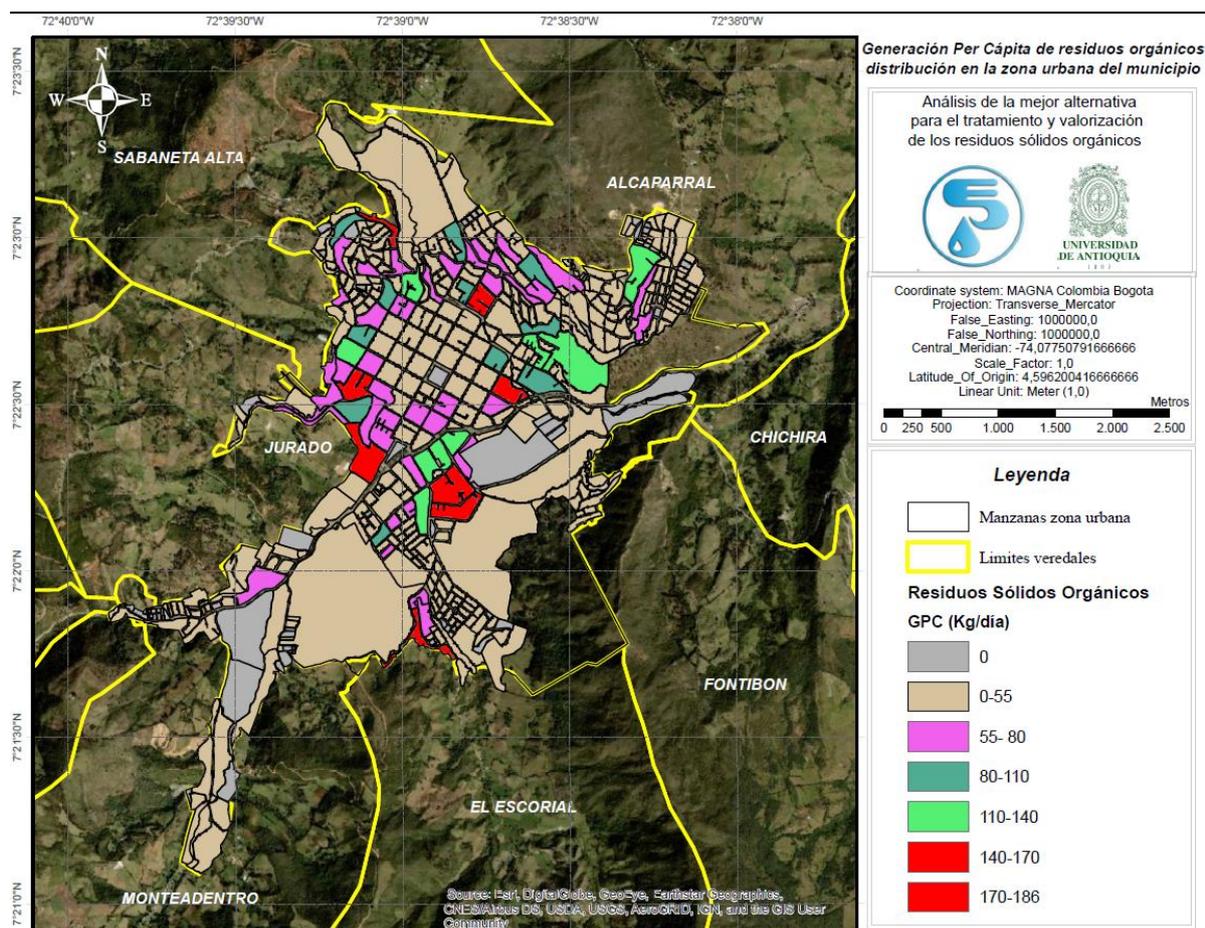
Fuente: Elaboración propia.

La figura 7 muestra el análisis geográfico para la generación de residuos orgánicos residenciales y su distribución por barrios. A continuación, se mencionan de manera general los barrios que incluyen una generación por encima de 110 kilogramos /día: El Olivo, Loma de la Cruz, Brighton, San Ignacio, San Agustín, el sector ubicado en Simón Bolívar, El Arenal, sector Humilladero, El Camellón, Cuatro de

Julio, Saleciano, La trinidad, entre otros que se evidencia en el mapa. Cabe destacar que la generación por manzanas es evidente en la figura 8 con mayor exactitud, esto resulta de utilidad para la distribución de rutas de recolección, en especial, aspectos de la gestión de residuos orgánicos.

Figura 7.

Generación Per Cápita de Residuos Orgánicos, Distribución en la Zona Urbana del Municipio de Pamplona.



Fuente: Elaboración propia.

6.4.6 Proyección de la generación de residuos sólidos del municipio de Pamplona en el sector residencial, discriminado para la generación total de residuos y la generación de residuos orgánicos.

En la tabla 20 y el gráfico 17, se observa la proyección total de residuos sólidos del municipio; para 2043 se estima una generación total de 35,32 toneladas-día equivalentes a 1.060 ton/ mes y 12.785,84

ton/año, al año 2046, es decir para un periodo de diseño de 25 años se estima una generación de residuos de 1.098,6 ton/ mes y 13.366,3 ton/año y por último al 2051 se estima una generación de residuos sólidos de 1.167,6 ton /mes y 14.205,8 ton /año.

Adicionalmente es de suma importancia analizar la generación de residuos sólidos orgánicos, con el fin de entender el potencial de aprovechamiento a 22, 25 y 30 años, igualmente para analizar aspectos técnicos y económicos de cada una de las alternativas de tratamiento y valorización de residuos orgánicos. A 22 años se estima que el municipio tendrá una generación de 613,5 ton/ mes y 7.464,25 ton/año; a 25 años se estima una generación de 636 ton/mes y 7.738 ton/año y a un periodo de 30 años se tiene que el municipio generará 675,9 ton/mes y 8.223,45 ton/año.

Tabla 20.

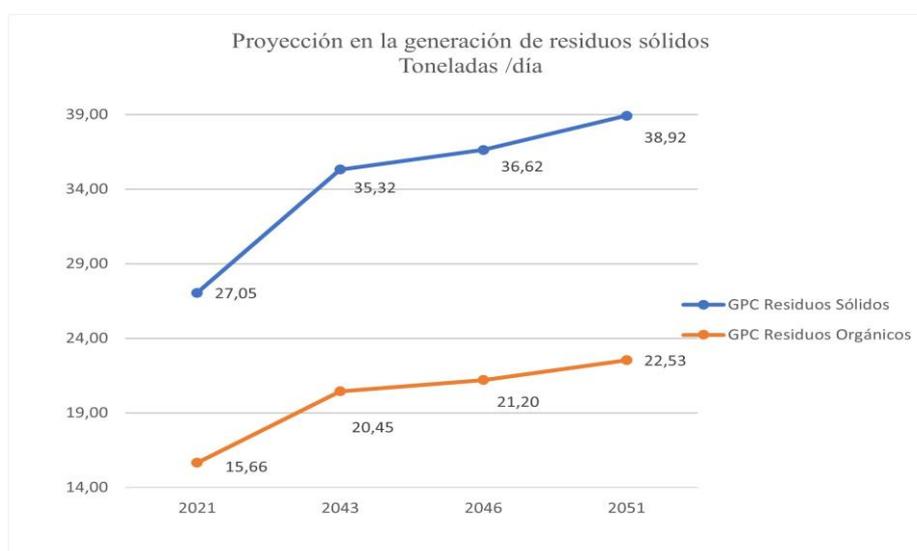
Proyecciones de Generación de Residuos Sólidos Urbanos.

| Consolidado Final | | GPC_total (kg/hab-día) | GPC_Orgánicos (kg/hab-día) |
|-------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Año | Población en cabecera | 0,57 | 0,33 |
| | | Generación (Ton-día) | |
| 2021 | 47449 | 27,05 | 15,66 |
| 2043 | 61957 | 35,32 | 20,45 |
| 2046 | 64247 | 36,62 | 21,20 |
| 2051 | 68282 | 38,92 | 22,53 |

Fuente: *Elaboración propia.*

Gráfico 17.

Proyecciones de Generación de Residuos Sólidos Urbanos.



Fuente: *Elaboración propia.*

6.5 Alternativas de aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos

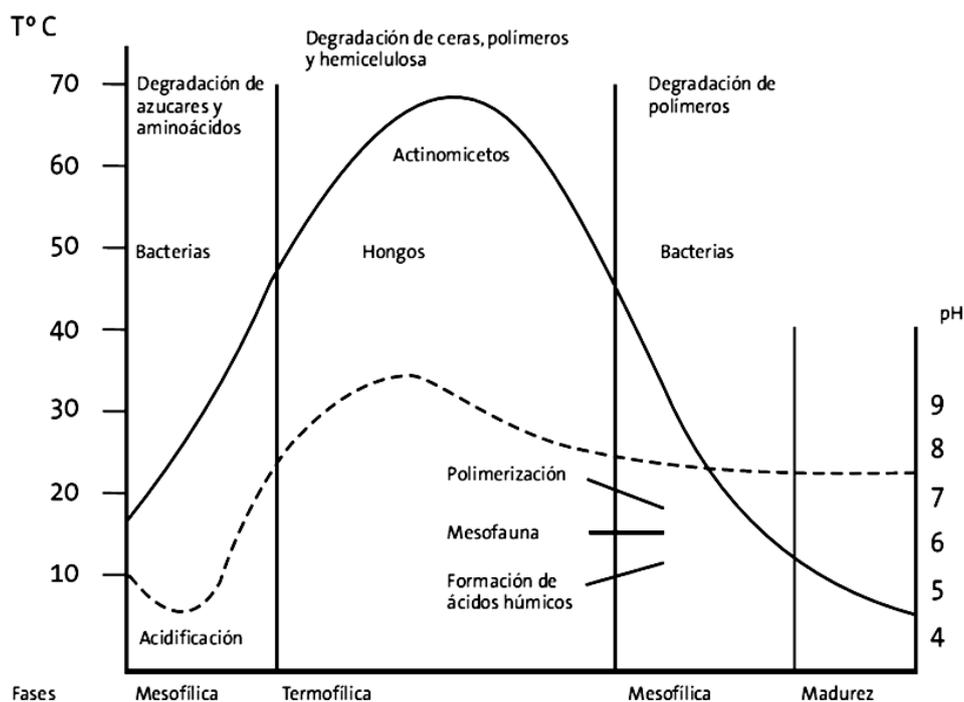
Resultados y análisis de la investigación de diferentes procesos de tratamiento y valorización de los residuos orgánicos. Análisis técnico, operacional, económico, ambiental, legal y social.

6.5.1 Perfil de las alternativas de tratamiento: Alternativa A - Compostaje

El análisis de la presente alternativa toma en consideración los aspectos técnicos descritos en el marco teórico, bajo el ítem 2.1 Alternativa de Compostaje. La implementación del proceso productivo requiere del conocimiento teórico de lo que está sucediendo en la planta de tratamiento de residuos orgánicos por compostaje, en donde es importante mantener el control y seguimiento de cada uno de los factores físicos y químicos a fin de obtener un producto final de excelente calidad bajo un procesamiento efectivo. Así mismo, el comportamiento de cada parámetro a través del proceso de degradación de materia orgánica en el compostaje fluctúa dependiendo de la etapa y de la acción de organismos descomponedores endémicos como artrópodos, microorganismos o enzimas, la gráfica 18 permite observar el comportamiento de las curvas de temperatura y pH; y la tabla 21 especifica los valores aceptables y óptimos de la relación carbono y nitrógeno (C/N), pH, contenido de humedad de la mezcla, contenido de oxígeno en el aire dentro de la cámara de compostaje, temperatura en la etapa termofílica y tamaño de partícula de los materiales.

Gráfico 18.

Etapas del Proceso de Compostaje. Caracterización de la Curva de Temperatura y pH.



Fuente: Dalzell et al., 1981

Tabla 21.

Niveles Aceptables y Óptimos de los Factores Físicos y Químicos para el Compostaje.

| Factor considerado | Intervalo aceptable | Valor óptimo |
|---|---------------------|--------------|
| Composición inicial de la mezcla, relación C/N (%) | 25 a 35 :1 | 30 :1 |
| Potencial de hidrógeno en la mezcla inicial, pH | 5,5 a 8,0 | 7,0 |
| Contenido de humedad de la mezcla durante el compostaje (%) | 40- 60 | 60 |
| Contenido de oxígeno en el aire dentro de la cámara de compostaje (%) | 5- 15 % | Mínimo :10% |
| Temperatura en la etapa termofílica (°C) | Entre los 55 y 65 | 60 |
| Tamaño de partícula de los materiales (cm) | 1-10 cm | 3-5 cm |

Fuente: Elaboración propia a partir de Diseño, puesta en marcha de instalaciones para el aprovechamiento de los residuos orgánicos. ACODAL, seccional noroccidente.

Como material de entrada es indispensable contar con residuos orgánicos, también denominados biorresiduos, es decir la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales recogidos y separados desde la fuente, que incluye los restos de comida de la elaboración de los productos alimentarios, la fracción vegetal en forma de restos vegetales de pequeño tamaño y los residuos de poda. Además, por ser una transformación biológica aerobia, requiere de la entrada controlada de oxígeno; este componente a escala industrial es realizado bajo diferentes metodologías según el criterio del ingeniero, entre ellas

se encuentra la aireación pasiva, aireación forzada y aireación por volteo mecánico. Para análisis del proyecto se tomará como criterio de diseño el método de aireación forzada, este método consiste en utilizar un sistema de aireación mecanizado para las pilas; basado en la succión o insuflado de aire (mediante ventiladores y conductos asociados), existen variantes que incluyen los dos tipos (ACODAL, 2021). Con ello se busca mantener un valor óptimo y favorecer la actividad metabólica de los microorganismos aerobios que hacen parte del proceso.

Continuando el análisis, para el aprovechamiento y tratamiento de los residuos orgánicos se trae a colación la definición de ECA de orgánicos, según el decreto 1077 son instalaciones técnicamente diseñadas con criterios de ingeniería y eficiencia económica, dedicadas al pesaje y clasificación de los residuos sólidos aprovechables, mediante procesos manuales, mecánicos o mixtos y que cuenten con las autorizaciones ambientales a que haya lugar. En el proyecto se tomará como unidad mínima los parámetros de una estación de clasificación y aprovechamiento plasmados en el decreto 2981 de 2013 y tomando en cuenta las experiencias de ACODAL Seccional Noroccidente, tal y como se indica en la tabla 22.

Tabla 22.

Áreas de Proceso en la Estación de Clasificación y Aprovechamiento de Materia Orgánica.

| No | Área o zona de proceso de un centro de compostaje |
|----|---|
| 1 | Recepción, pesaje y almacenamiento de residuos que llegan |
| 2 | Almacenamiento de material de mezcla |
| 3 | Preparación de la mezcla |
| 4 | Compostaje: pilas, túneles |
| 5 | Maduración |
| 6 | Pulimento y empaque |
| 7 | Almacenamiento de producto terminado |
| 8 | Equipos y herramientas |
| 9 | Administrativa |
| 10 | Servicios sanitarios |
| 11 | Comedor y guarda ropas |
| 12 | Circulación peatonal |
| 13 | Circulación vehicular o de equipos de proceso internos |
| 14 | Circulación vehicular o de equipos a nivel externo |
| 15 | Áreas de parqueo |
| 16 | Pruebas de resultados(áreas de cultivos demostrativos) |
| 17 | Retiros y paisajismo |

Fuente: Elaboración propia.

A fin de conocer el espacio necesario para la construcción de una ECA de aprovechamiento de orgánicos, contando con las áreas o zonas del proceso de compostaje descritas en la tabla 22, se parte por conocer el volumen de ocupación de los residuos de materia orgánica mediante su densidad, así como la ocupación del material de mezcla (aserrín - viruta) y de los residuos orgánicos junto con el material de mezcla. Además, el diseño de las pilas se elige en forma trapezoidal con una base mayor de 4 metros, la base menor de 1,5 metros, una altura de 2,6 metros y una longitud de 50 metros, bajo la experiencia y recomendación de EarthGreen Colombia. Los datos a continuación fueron calculados para una ECA de residuos orgánicos por compostaje con una capacidad de 22 ton/día dada la proyección de generación de residuos orgánicos para el periodo de diseño de 2046.

Tabla 23.

Dimensionamiento de la ECA de Residuos Orgánicos por Compostaje, con una Capacidad de 22 ton/día.

| ECA DE RESIDUOS ORGÁNICOS POR COMPOSTAJE | | | |
|---|---|---------------------|-----------|
| Capacidad media: 22 ton/día | | | |
| Dimensionamiento salas de compostaje | | | |
| Alternativa tecnológica: Aireación Forzada | | | |
| No | ESPECIFICACIÓN | UNIDAD | DIMENSIÓN |
| 1 | DENSIDAD DE RESIDUO ORGÁNICO | ton/m ³ | 0,5 |
| 2 | DENSIDAD DE MATERIAL DE MEZCLA (aserrín-viruta) | ton/m ³ | 0,25 |
| 3 | DENSIDAD DE RESIDUO MEZCLADO | ton/m ³ | 0,4 |
| 4 | CAPACIDAD DE ECA COMPOSTAJE | Ton/día | 22 |
| 5 | CAPACIDAD DE ECA COMPOSTAJE | m ³ /día | 44 |
| 6 | CANTIDAD DIA DE RESIDUO MEZCLADO | m ³ /día | 47,7 |
| 7 | Ancho base pila | m | 4 |
| 8 | Ancho base menor de la pila | m | 1,5 |
| 9 | Altura de la pila | m | 2,6 |
| 10 | Área sección de la pila | m ² | 7,15 |
| 11 | Longitud de la pila | m | 50 |
| 12 | Capacidad de cada pila | m ³ | 357,5 |
| 13 | No días de capacidad/pila | días | 8 |
| 14 | Pilas/sala | # | 4 |
| 15 | Longitud total de 4 pilas | m | 200 |
| 16 | Capacidad total de las 4 pilas/sala | m ³ | 1430 |
| 17 | No días de capacidad/sala | días | 32 |
| 18 | Separación entre pilas | m | 4 |
| 19 | Separaciones laterales de orilla para colocar sopladores (1,5 a cada lado) | m | 3 |
| 20 | Separaciones al principio y al final de la pila con relación a las paredes o cortinas (5 m a cada lado) | m | 10 |
| 21 | Ancho Total de sala Compostaje | m | 15 |
| 22 | Longitud total de sala Compostaje | m | 114 |
| 23 | Área total de la sala Compostaje | m ² | 1710 |
| 24 | Días de compostaje | días | 30 |
| 25 | Capacidad necesaria en volumen para 30 días de material de mezcla | m ³ | 110 |
| 26 | Avance día con 22 ton/día | m | 7 |
| 27 | Número de días llenado de 1 pila | días | 8 |
| 28 | Número de días llenado de 2 PILAS | días | 16 |
| 29 | Número de días llenado de 3 PILAS | días | 24 |
| 30 | Total de días llenado de 4 PILAS | días | 32 |
| 31 | Salas de compostaje | u | 1 |
| 32 | Sala de maduración- pulimento, empaque y reciclaje | u | 1 |
| 33 | Áreas para: Almacenamiento residuos- material de mezcla- zona de mezcla | u | 2 |
| 34 | Área total de aprovechamiento: Compostaje + maduración+ empaque+ reciclaje. | m ² | 3.420,00 |

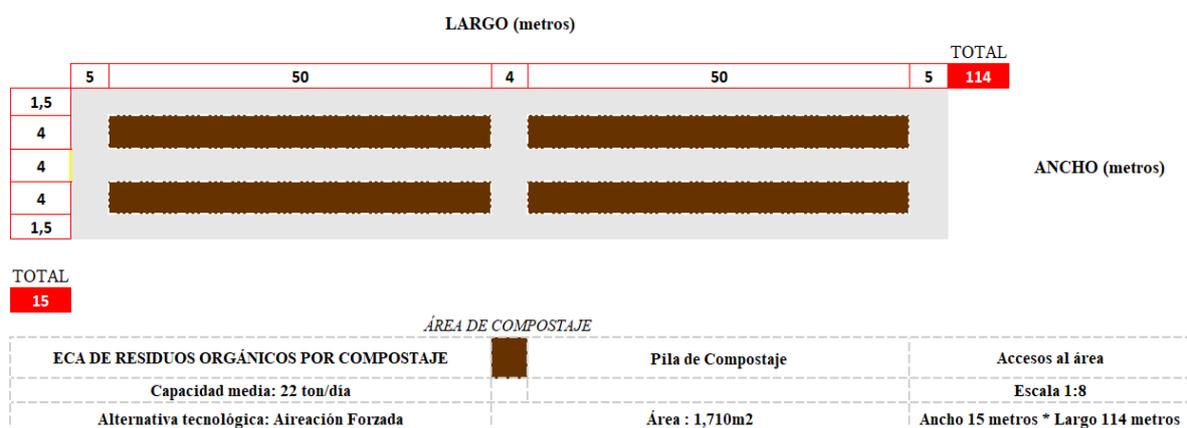
Fuente: Elaboración propia.

La tabla 23 nos da a entender el área de ocupación necesaria para la infraestructura de la ECA, con una capacidad de procesamiento de 22 ton/día de residuos orgánicos municipales, es necesario contar con el diseño de 4 pilas de compostaje con una capacidad de 357,5m³ cada una, las 4 pilas representan una capacidad de 1.430m³ alcanzando su ocupación total en 32 días, con la llegada de 22 ton/día se abarcan 7 metros de la pila y un volumen de 47,7m³, considerando el material de mezcla agregado en la etapa de preparación. Únicamente el área de la sala de compostaje es de 1.710m² con 15 metros de ancho y

114 metros de longitud, tomando en cuenta las 4 pilas de compostaje, área para los equipos de aireación forzada, los espacios entre pilas para circulación peatonal, vehicular y área para procesos internos. Además de eso es necesario contar con espacios para la sala de maduración, pulimiento, empaque y reciclaje, áreas para el almacenamiento del material de mezcla, zona de mezcla y recepción y almacenamiento del producto final, por ello se estima un área de aprovechamiento total de 3.420 m² (30 metros x 114 metros).

Imagen representativa 8.

Vista en Planta de la Sala de Compostaje y Aprovechamiento de Materia Orgánica Bajo la Alternativa Tecnología de Aireación Forzada.



Fuente: *Elaboración propia.*

Con base en las experiencias y la literatura el proceso de compostaje por aireación forzada tiene un tiempo de duración de 25 a 30 días en condiciones óptimas, sin embargo, para hallar el tiempo real se requiere una prueba piloto con dimensiones estructuradas y un escalamiento de calidad. La imagen representativa 8, deja ver una vista en planta del área de compostaje, conformado por 4 pilas con una capacidad de 32 días. La pila continua con una longitud de 50 metros cuenta con un llenado de 8 días u una semana, se recomienda manejarla como un todo al movilizar el compost maduro de una sección a otra.

En cuanto a las especificaciones económicas de la alternativa de compostaje se analizan los costos para los equipos de operación y control especialmente para las etapas señaladas en la imagen representativa 1, sin contar con el proceso de recolección y transporte de los residuos orgánicos.

Los equipos de operación y control que se proyectan para la planta de aprovechamiento y tratamiento de residuos orgánicos municipales son incluidos en la tabla 24, donde se especifican cotizaciones realizadas según la cantidad y el valor unitario de cada uno.

Tabla 24.

Equipos de Operación y Control del Proceso de Compostaje.

| Equipos de operación y control | Identificación | Uso | Cantidad | Pesos colombianos (\$) | |
|--------------------------------|---|--|-----------|------------------------|----------------------|
| | | | | Valor unitario | Valor total |
| Báscula digital |  | Control en peso y volumen de los residuos orgánicos manejados por viaje en la ECA | 1 | \$10.000.000 | \$10.000.000 |
| Herramientas menores |  | Elementos de protección para los operarios de la planta garantizando su seguridad, herramientas como palas, valdes, carretas, entre otros. | 25 | \$600.000 | \$15.000.000 |
| Minicargador |  | Transporte del material | 1 | \$30.000.000 | \$30.000.000 |
| PH-metro digital |  | Control del Ph de cada pila | 2 | \$100.000 | \$200.000 |
| Sensor de humedad digital |  | Control de porcentaje de humedad | 2 | \$50.000 | \$100.000 |
| Sensor de oxígeno |  | Control de oxígeno | 2 | \$127.000 | \$254.000 |
| Sistema de aireación |  | Oxigenación de las pilas | 4 | \$20.000.000,00 | \$80.000.000 |
| Termómetro digital |  | Control de temperatura | 2 | \$35.000 | \$70.000 |
| Zaranda Circular Mecánica |  | Etapas de procesamiento del producto final | 1 | \$5.000.000 | \$5.000.000 |
| Total: | | | 40 | \$65.912.000 | \$140.624.000 |

Fuente: *Elaboración propia.*

Con base en la tabla anterior se tiene una inversión de \$ 140.624.000 destinados para equipos de operación en la planta de tratamiento por compostaje, considerando los equipos necesarios para el control de variables en la pila, equipos de transporte como el minicargador, la zaranda circular mecánica para la etapa de maduración y pulimiento y el sistema de aireación forzada; considerando los sopladores y la red de tuberías en cada pila.

En este sentido se suma la evaluación de ingresos provenientes de la venta del producto final para la alternativa de compostaje, en este caso se considera el mercado para el abono orgánico denominado compost. El compost en Colombia tiene un precio de venta de \$180.000 por tonelada generada, este abono orgánico representa una posición en el mercado tipo sólido y con registro de producción y venta ante el ICA. Siento un valor promedio entre las variaciones en el mercado analizadas por entidades como ACODAL y FAO, sumando el análisis de otros productores de biofertilizantes por compostaje.

El panorama de compostaje en Colombia domina como alternativa para el tratamiento de los residuos orgánicos, al ser una tecnología de fácil implementación, producción y mantenimiento. Según las estadísticas presentadas por la Editorial La República S.A.S. en el 2021, del porcentaje total de abonos orgánicos que se generen en Colombia el 90% son producto del compostaje; al año el país reporta aproximadamente 700.000 toneladas al año.

Según la referencia del mercado de venta del producto final, se hace necesario definir la cantidad teórica de abono orgánico por compostaje de la primera cosecha definida en 30 días bajo condiciones óptimas.

El cálculo se hace por pila de compostaje, en donde cada pila tiene capacidad de transformar $357,5 m^3$ de materia orgánica hasta obtener 40% de abono orgánico por compostaje. Al final del proceso se tiene $143 m^3$ de abono orgánico, equivalente a 71,5 toneladas. Con base en los precios manejados en el mercado se obtiene un ingreso de \$12.870.000 al finalizar los 30 días de cosecha. Realizando una proyección de 3 meses de \$38.610.000.

Tabla 25.

Comparación de ingresos mensuales entre la alternativa A y la alternativa B.

| Compostaje | | Vermicompostaje | | Ganancia Alternativa A sobre alternativa B |
|------------|---------------|-----------------|--------------------------|---|
| Mes | Ingreso | Mes | Ingreso | |
| 1 | \$12.870.000 | 1 | Tiempo de Compostaje | / |
| 2 | \$25.740.000 | 2 | Proceso de lombricultivo | / |
| 3 | \$38.610.000 | 3 | \$31.400.000 | \$7.210.000 |
| 4 | \$51.480.000 | 4 | Tiempo de Compostaje | / |
| 5 | \$64.350.000 | 5 | Proceso de lombricultivo | / |
| 6 | \$77.220.000 | 6 | \$62.800.000 | \$14.420.000 |
| 7 | \$90.090.000 | 7 | Tiempo de Compostaje | / |
| 8 | \$102.960.000 | 8 | Proceso de lombricultivo | / |
| 9 | \$115.830.000 | 9 | \$94.200.000 | \$21.630.000 |
| 10 | \$128.700.000 | 10 | Tiempo de Compostaje | / |
| 11 | \$141.570.000 | 11 | Proceso de lombricultivo | / |
| 12 | \$154.440.000 | 12 | \$125.600.000 | \$28.840.000 |

Fuente: Elaboración propia.

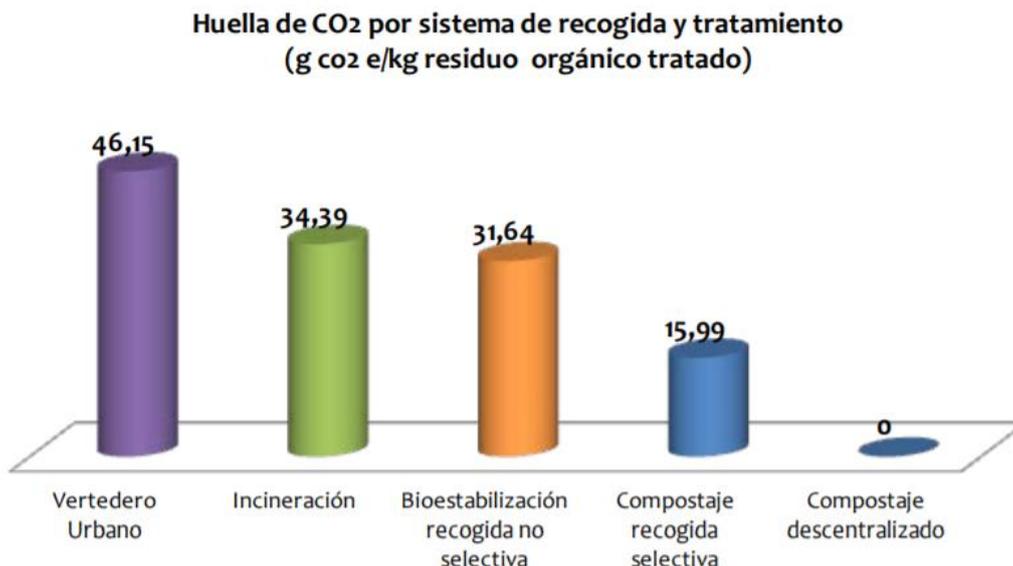
Por otro lado, el análisis del componente ambiental se enfoca en la contribución del proceso de compostaje a reducir los impactos al entorno natural, entre los que se destaca la nulidad en la generación de olores y vectores, se evita la generación de gases contaminantes como el metano y la generación de lixiviados del relleno sanitario.

Según PIGCCS (2020), el sector de residuos sólidos aporta el 4% del inventario de emisiones a nivel nacional, por tanto, se vuelve una línea estrategia el promover y gestionar actividades complementarias al tratamiento y disposición final de los residuos sólidos.

El estudio realizado por INCLAMCO2 encontró que la emisión total de CO_2 equivalente generado a través del tratamiento de un kilogramo de residuos orgánicos seleccionados desde la fuente en una planta de compostaje es de 15,99 g de CO_2e por kg de residuo orgánico. Lo cual comparado con la huella de CO_2 de un vertedero urbano es menor en un 30,16 g CO_2e kg residuo orgánico tratado como se observa en el gráfico 19. El estudio hace la comparación de escenarios tomando como base el tratamiento de 1 kilogramo de residuos orgánicos en España. (Grupo INCLAM, 2013)

Gráfico 19.

Comparativa de la Huella de CO_2 en diferentes sistemas de recogida y tratamiento de residuos orgánicos. (g CO_2e /kg residuo orgánico tratado).



Fuente: Grupo INCLAM CO₂, 2013.

Adicional a los beneficios ambientales por la reducción de un 65,35 % de las emisiones de gases efecto invernadero dejados de emitir, el compost como producto final de esta alternativa cumple la función de incorporar, recuperación y aportar materia orgánica y nutrientes, además de fijar CO₂ en los suelos, el porcentaje de fijación del suelo varía según los parámetros de los suelos y de la materia orgánica generada; sin embargo según PROGNOS (2008) el porcentaje de almacenamiento de carbono del 24%, correspondiente a 52 kg de CO₂ equivalente por tonelada de biorresiduos recogidos y compostados. Entre otras cosas el uso de compost reduce los requerimientos de fertilizantes nitrogenados y por ende las emisiones de N₂O.

En total el relleno sanitario La Cortada genera 959,04 m³/ mes, los cuales no se vierten ni se tratan, se realiza un proceso de recirculación de lixiviados, el proceso de tratamiento de los residuos orgánicos evita llevar 469,80 ton / mes por parte del municipio de Pamplona, los cuales ocuparían 1.320 m³ /mes de la capacidad del relleno sanitario con datos al 2021.

Cabe mencionar que el diseño de la planta de compostaje requiere el diseño de rutas de drenaje para conducir los lixiviados generados. A pesar de que el proceso en óptimas condiciones y bajo los parámetros adecuados no producirá ni olores, ni lixiviados, ni vectores se debe prever su generación en las etapas iniciales de adecuación; sin embargo, este líquido puede ser utilizado para manejar el

intervalo de humedad en la pila de compostaje y así evitar impactos ambientales en cuanto a la generación de vertimientos.

Así mismo en el componente ambiental se contempla la intervención a un área de $3.420 m^2$ en donde el proceso requiere de varias actividades en la etapa de construcción como explanación, descapote y adecuación del terreno para la obra, remoción de cobertura vegetal, adaptación de vías para el acceso a la planta, adecuación de la cubierta al lote de $3.420 m^2$. Entre otras actividades que deben ser estudiadas con detalle una vez se tome la decisión de la implementación del proyecto y la ubicación de este. La construcción de la obra implica un impacto paisajístico al ser una alternativa de construcción con cubierta, además, se requiere de la instalación e introducción de elementos extraños al medio natural. Sin embargo, la gravedad del impacto dependerá del terreno destinado para la planta y sus características de fauna, flora e intervención previa.

El siguiente análisis se enfoca en la dimensión legal, la reglamentación de las actividades complementarias de tratamiento y disposición final de residuos sólidos en el servicio público de aseo se especifica en la resolución 0938 de 2019, la cual deja constancia de las áreas para la ubicación de proyectos de tratamiento de residuos como se cita a continuación:

1. Áreas ya impactadas por las actividades de transferencia o de disposición final.
2. Suelos urbanos con actividades definidas como industriales de alto impacto.
3. Suelos de expansión y rurales descartando las áreas de determinantes ambientales asociadas a categorías de protección que impidan el desarrollo de este tipo de proyectos y que se encuentren debidamente acogidas en la cartografía oficial por el correspondiente instrumento de planeación acorde con lo señalado en la ley 388 de 1997.
4. Deberán descartarse zonas declaradas de riesgo no mitigable.

También se impone el artículo noveno de la Resolución 2041 de 2014, donde en el numeral 12 da competencia a las corporaciones autónomas regionales a otorgar o negar la licencia ambiental a la construcción y operación de plantas cuyo objetivo sea el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos biodegradables mayores o iguales a 20.000 toneladas/ año. Adicionalmente, el sector de la industria agrícola se vale de la Norma Técnica Colombiana 5167 del 2004 para establecer los

requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas de suelo, la norma expone requisitos específicos según la clasificación del producto, también se presentan los límites máximos permitidos para macro contaminantes presentes en productos sólidos, los niveles máximos de patógenos, entre otros factores para la aceptación y rechazo del producto. Sumado a lo anterior, El Instituto Colombiano Agropecuario exige a toda persona natural o jurídica registrarse ante el ICA como: importadora, fabricante, formuladora, envasadora, empacadora o distribuidora, interesada en comercializar fertilizantes y acondicionadores de suelos a través de una solicitud de registro de venta de fertilizantes y acondicionadores de suelos como lo reglamenta la resolución número 00150 del 2003, incluyendo las modificaciones de la resolución 0968 de 2010 y las ampliaciones hechas en la resolución 40207 de 2018.

Por último, se trae a colación la dimensión social, en donde se resalta las oportunidades de trabajo que traería al municipio, tanto en las etapas de construcción como operación de la ECA de orgánicos por compostaje. Aunque los empleos generados en la etapa de construcción no perduran en el tiempo, estos crean una ayuda en la calidad de vida y economía en las personas contratadas. En la siguiente tabla se proyecta los empleos que genera la ECA de compostaje en la etapa de operación, donde se reporta un total de 9 empleados.

Tabla 26.

Proyección y Descripción del Recurso Humano Necesario en la Operación de la ECA de Compostaje.

| Personal | Cantidad | Función |
|---|----------|--|
| Supervisor | 1 | Coordinar y garantizar cada una de las fases del proceso de compostaje para obtener un producto final de excelente calidad. Vigilar que cada parámetro físico este dentro de los rangos óptimos de la metodología. |
| Operarios en sala de compostaje | 4 | Encargados del manejo y preparación de los residuos orgánicos que llegan a la ECA de compostaje, así como del acompañamiento en la operación del proceso, desde la etapa de preparación hasta la etapa mesófila o de enfriamiento. Dentro de sus funciones se incluye la medición de parámetros en cada una de las pilas y el reporte de las condiciones físicas de la pila. |
| Operarios en sala de maduración, empaque y pulimiento | 2 | Transporte del material compostado al área de maduración, donde los operarios deben responsabilizarse del pulimiento y empaque del compost que será comercializado. |
| Técnico de mercadeo | 1 | Profesional encargado de preparar, ejecutar y controlar la gestión comercial. Enfocado en la gestión estratégica del área de mercadeo, promoviendo la venta del abono orgánico llamado compost. |
| Contador | 1 | Profesional encargado de llevar los estados financieros, de analizar cada uno de los gastos e ingresos y todas las actividades económicas reportadas por la ECA de compostaje. |
| Total | | 9 |

Fuente: Elaboración propia a partir de información recolectada.

Este proyecto, sitúa al municipio con prioridades hacia el desarrollo sostenible, proyectando a nivel regional y nacional una imagen de innovación tecnológica, ecológica y ambiental; atrayendo la atención de inversionistas en el mercado verde. Además, se resalta que del grupo poblacional que aprovecha los residuos orgánicos en el municipio, el 44% dispone de ellos con el fin de usarlos para el jardín e incorporarlos a un sistema de compostaje de pequeña escala, en donde culturalmente tal porcentaje de la población tiene conocimiento de esta metodología y sus beneficios.

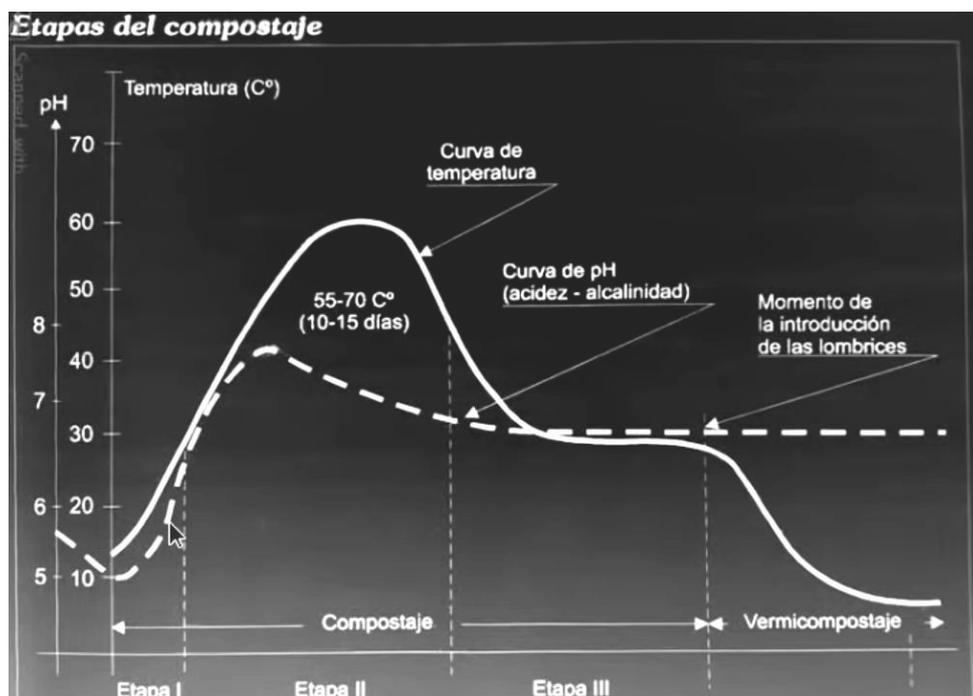
Con base en la experiencias nacionales e internacionales en América latina, la implementación de una planta de tratamiento de residuos orgánicos a través del compostaje no requiere de alta tecnología, la tecnología necesaria está disponible a nivel nacional e involucra materia prima y mano de obra colombiana.

6.5.2 Perfil de las alternativas de tratamiento: Alternativa B – Lombricultura

Tomando como referencia el planteamiento técnico recolectado en el marco teórico bajo el título 2.2 Alternativa de lombricultura se determina que este sistema que no resulta eficiente en el desarrollo práctico para el municipio, ni dará resultados óptimos. Es por esto por lo que se analizará en esta alternativa un sistema denominado vermicompostaje, en el cual se empieza con la etapa de compostaje, en nuestro análisis bajo aireación forzada, para obtener una materia orgánica estabilizada en temperatura, pH y textura. La imagen representativa 9, describe las etapas del proceso y representa el comportamiento de la curva de pH y temperatura desde el inicio hasta terminar el proceso, posterior a esta esta sucede la degradación de la materia con ayuda de la lombriz roja californiana. La ingeniera agrónoma Andrea Galdolfi en base de su experiencia y estudios reporta que el producto final de esta alternativa se obtiene a los dos meses de la etapa de compostaje. Considerando además que 1.000 lombrices se comen 1 kg de materia orgánica al día y excretan 60% humus.

Imagen representativa 9.

Etapas del Proceso de Vermicompostaje.



Fuente: Valdivia, A., 2012

Por tanto, el análisis del proceso se divide en dos, en primer lugar, el compostaje y en segundo lugar la introducción de las lombrices al medio, para concluir el vermicompostaje. Los parámetros de la primera etapa se describen en la alternativa A, gráfico 18 y tabla 21. Se debe tener en cuenta que en la etapa

posterior los parámetros cambian, esto ocurre a fin de garantizar un ambiente propicio para el actor principal, la lombriz. Los rangos óptimos de temperatura, humedad, pH, luminosidad, relación C:N, salinidad y contenido de amonio que permiten un mayor consumo del material orgánico se indica a continuación:

Tabla 27.

Parámetros y Rangos de la Alternativa de Lombricultura.

| Parámetro | Rango |
|---------------------|---|
| Temperatura | De 10 a 25°C, controlando que no descienda por debajo de los 7°C y no supere los 35°C. (Román et al 2013) |
| Humedad | Entre 70 y 80%, humedades inferiores pueden dificultar el movimiento de las lombrices en el lombricultivo y muerte debido a la dificultad de obtener el oxígeno del agua; humedades superiores pueden ahogar a las lombrices debido a que ellas respiran por la piel, además de la posible atracción de vectores (moscas) |
| pH | Entre 6,5 y 7,5. Valores por debajo de 4,5 y por encima de 8,5 pueden causar la muerte del lombricultivo |
| Luminosidad | Las lombrices son fotosensibles, por lo tanto, se debe mantener el lombricultivo protegido de los rayos directos del sol de lo contrario ocasionaría la muerte de la lombriz |
| Relación C: N | Debe ser 30:1 |
| Salinidad | Debe estar por debajo de 0,5% (Edwards et al 2011). Altos contenidos de sal afectan el desarrollo de las lombrices |
| Contenido de amonio | Las recomendaciones dan lugar a un contenido de amonio por debajo de 0,5 mg/g. (García y Solano, 2005) |
| Riego | 2 horas cada 3 días por el método de aspersión (Raya, 2010) |

Fuente: Tomado y adaptado Ndegwa y Thompson, 2001.

Por otra parte, para el diseño y construcción de una planta de tratamiento en esta alternativa se toma a consideración la opción denominada compostaje con lombrices presentada en la literatura para vermicompostaje a gran escala. Según el Manual de Compostaje para Municipios (2002), el proceso implica realizar la etapa de compostaje en pilas; siguiendo las consideraciones del nuestro estudio descritas en la alternativa A número 6.5.1; pasado el tiempo de descomposición y estabilización de la materia orgánica utilizando la tecnología de aireación forzada, se procede a usar las lombrices, a fin de que estas se alimenten del producto degradado en el proceso de compostaje. Manteniendo la relación

propuesta por el Ingeniero especialista Ángel Pelaitay, quien establece ingresar 3.000 lombrices por metro cuadrado. Se ha de destacar que existen otras opciones de vermicompostaje, sin embargo, las dimensiones proyectadas para esas plantas de aprovechamiento sobrepasan por mucho los metros cuadrados de las ECA ya presentadas.

Tabla 28.

Dimensionamiento de la ECA de residuos orgánicos por Vermicompostaje, con una capacidad de 22 ton/ día bajo la alternativa de compostaje con lombrices.

| ECA DE RESIDUOS ORGÁNICOS POR VERMICOMPOSTAJE | | | |
|--|--|---------------------|------------------|
| Capacidad media: 22 ton/día | | | |
| Dimensionamiento salas de Vermicompostaje | | | |
| Alternativa tecnológica: Compostaje de lombrices | | | |
| No | ESPECIFICACIÓN | UNIDAD | DIMENSIÓN |
| 1 | DENSIDAD DE RESIDUO ORGÁNICO | ton/m ³ | 0,5 |
| 2 | DENSIDAD DE MATERIAL DE MEZCLA(aserrín-viruta) | ton/m ³ | 0,25 |
| 3 | DENSIDAD DE RESIDUO MEZCLADO | ton/m ³ | 0,4 |
| 4 | CAPACIDAD DE ECA COMPOSTAJE | Ton/día | 22 |
| 5 | CAPACIDAD DE ECA COMPOSTAJE | m ³ /día | 44 |
| 6 | CANTIDAD DÍA DE RESIDUO MEZCLADO | m ³ /día | 47,7 |
| 7 | Ancho base pila | m | 4 |
| 8 | Ancho base menor de la pila | m | 1,5 |
| 9 | Altura de la pila | m | 2,6 |
| 10 | Área sección de la pila | m ² | 7,15 |
| 11 | Longitud de la pila | m | 50 |
| 12 | Capacidad de cada pila | m ³ | 357,5 |
| 13 | No días de capacidad/pila | días | 8 |
| 14 | Pilas/sala | # | 4 |
| 15 | Longitud total de 4 pilas | m | 200 |
| 16 | Capacidad total de las 4 pilas/sala | m ³ | 1430 |
| 17 | No días de capacidad pilas/sala | días | 32 |
| 18 | Separaciones laterales de orilla para colocar sopladores (1,5 a cada lado) | m | 3 |
| 19 | Días de compostaje | días | 30 |
| 20 | Capacidad necesaria en volumen para 30 días de material de mezcla | m ³ | 110 |
| 21 | AVANCE/DÍA CON 22 TON/DÍA | m | 7 |
| 22 | Número de días llenado de 1 pila | días | 8 |
| 23 | Número de días llenado de 2 PILAS | días | 16 |
| 24 | Número de días llenado de 3 PILAS | días | 24 |

| | | | |
|--------------------------------------|--|----------------------|-----------------|
| 25 | Total, de días llenado de 4 PILAS | días | 32 |
| 26 | Área total de la sala Compostaje | m ² | 1710 |
| Complemento con Lombricultura | | | |
| 27 | Ancho de la cama | m | 2 |
| 28 | Altura de la cama | m | 1 |
| 29 | Área sección de la cama | m ² | 2 |
| 30 | Longitud de la cama | m | 61 |
| 31 | Capacidad de cada cama | m ³ | 122 |
| 32 | Camas/sala | # | 8 |
| 33 | Longitud total de 4 cama | m | 108 |
| 34 | Capacidad total de las 4 camas/sala | m ³ | 488 |
| 35 | No días de capacidad Camas/sala | días | 64 |
| 36 | Número de días llenado de 1 cama | días | 16 |
| 37 | Número de días llenado de 2 camas | días | 32 |
| 38 | Número de días llenado de 3 camas | días | 48 |
| 39 | Total de días llenado de 4 camas | días | 64 |
| 40 | Salas de compostaje | u | 1 |
| 41 | Sala de maduración- pulimento, empaque y reciclaje | u | 1 |
| 42 | Áreas para: Almacenamiento residuos- material de mezcla- zona de mezcla | u | 2 |
| 43 | Sala de vermicompostaje | u | 1 |
| 44 | Área total de aprovechamiento: Compostaje + vermicompostaje | m² | 4.087,00 |
| 45 | Área total de aprovechamiento: Vermicompostaje+ empaque+ almacenamiento +reciclaje. | m² | 8.174,00 |

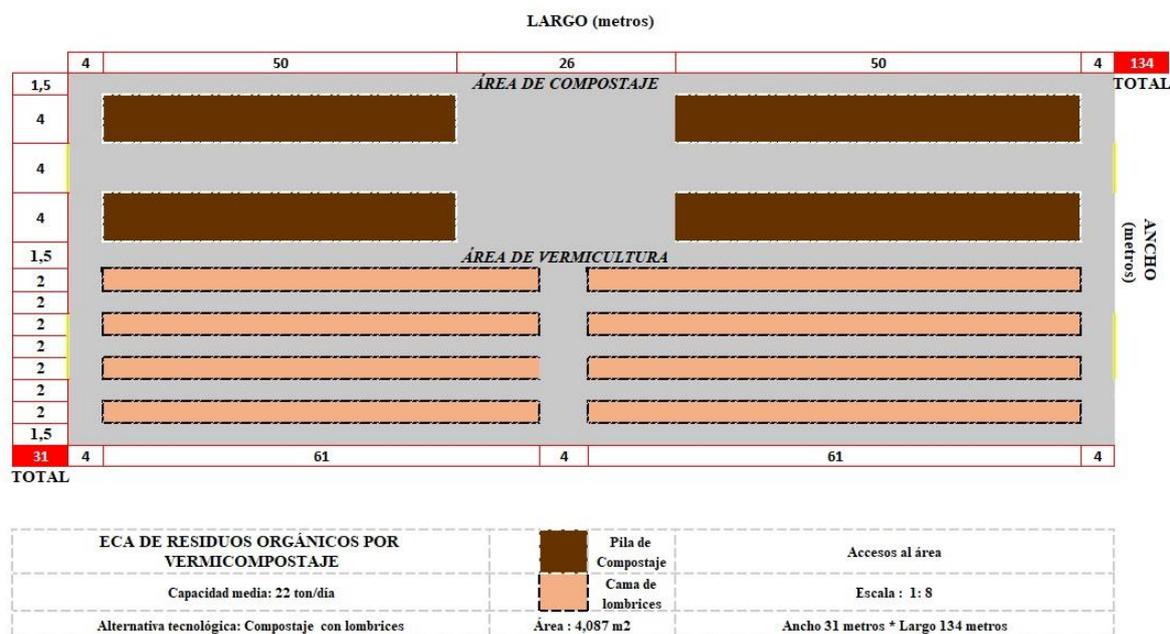
Fuente: Elaboración propia.

La tabla 28, refleja el área de ocupación necesaria para la infraestructura de la ECA, calculada para una capacidad de procesamiento de 22 ton/día de residuos orgánicos municipales, bajo esta alternativa se toman en cuenta el área de compostaje y el área de lombricultura. El área de compostaje fue planteada por la alternativa tecnología de aireación forzada y un diseño en 4 pilas; cada una con una capacidad de $357,5m^3$ cuyas dimensiones representa un trapecio de 4 metros en la base mayor, 1,5 metros en la base menor y 2,6 metros de altura; las cuales alcanzan una ocupación total en 32 días. El área de lombricultura abarca el diseño de 8 camas de lombricultura con dimensiones de 2 ancho * 61 largo * 1 altura; con una ocupación total de 64 días. La distribución espacial de la planta de tratamiento de materia orgánica fue elaborada para obtener la menor área posible, sin embargo, su forma puede variar de acuerdo con las

condiciones del terreno. La imagen representativa 10 evidencia únicamente el área de la sala de procesos, abarcando 4.087m^2 con 31 metros de ancho y 134 metros de longitud, tomando en cuenta las 4 pilas de compostaje, área para los equipos de aireación forzada, 8 camas de vermicultura, los espacios entre pilas y camas, espacios para circulación peatonal, vehicular y área para procesos internos. Además de eso es necesario contar con espacio de pulimiento, empaque y reciclaje, áreas para el almacenamiento del material de mezcla, zona de mezcla y recepción y almacenamiento del producto final, por ello se estima un área de aprovechamiento total de 8.174 m^2 (62 metros x 134 metros).

Imagen representativa 10.

Vista en Planta de la Sala de Vermicompostaje, con una Capacidad de 22 ton/ día Bajo la Alternativa de Compostaje con Lombrices.



Fuente: *Elaboración propia.*

A fin de obtener un balance sobre la generación de costos e ingresos de la alternativa en cuestión, se trae a colación las especificaciones en los equipos de control y operación, así como el uso que tomará en la planta y el costo según las cantidades necesarias. Se aclara que el análisis se realiza para las etapas llevadas a cabo dentro de la ECA, sin contar con el proceso de recolección y transporte de los residuos orgánicos.

Tabla 29.*Equipos de Operación y Control del Proceso de Vermicompostaje.*

| Equipos de operación y control | Identificación | Uso | Cantidad | Pesos colombianos (\$) | |
|--------------------------------|---|--|-----------|------------------------|----------------------|
| | | | | Valor unitario | Valor total |
| Báscula digital |  | Control en peso y volumen de los residuos orgánicos manejados por viaje en la ECA | 1 | \$10.000.000 | \$10.000.000 |
| Herramientas menores |  | Elementos de protección para los operarios de la planta garantizando su seguridad, herramientas como palas, valdes, carretas, entre otros. | 30 | \$660.000 | \$19.800.000 |
| Minicargador |  | Transporte del material | 2 | \$30.000.000 | \$60.000.000 |
| PH-metro digital |  | Control del Ph de cada pila/cama | 4 | \$100.000 | \$400.000 |
| Sensor de humedad digital |  | Control de porcentaje de humedad | 4 | \$50.000 | \$200.000 |
| Sensor de oxígeno |  | Control de oxígeno | 3 | \$127.000 | \$381.000 |
| Sistema de aireación |  | Oxigenación de las pilas | 4 | \$20.000.000 | \$80.000.000 |
| Termómetro digital |  | Control de temperatura | 3 | \$35.000 | \$105.000 |
| Zaranda Circular Mecánica |  | Etapas de procesamiento del producto final | 1 | \$5.000.000 | \$5.000.000 |
| Total: | | | 52 | \$65.312.000 | \$156.086.000 |

Fuente: *Elaboración propia.*

En esta alternativa se contemplan los equipos de operación y control para el área de compostaje y para el área de lombricultura, así mismo se considera la presencia de 4 operarios más, en comparación con la primera alternativa. Los costos generados en equipos alcanzan los \$156.086.000. Este costo está por encima de la alternativa A con una diferencia de \$15.462.000.

Continuando con el análisis económico, se evalúa de manera general la proyección de los ingresos provenientes de la venta del producto final para la alternativa de vermicompostaje, en este caso se considera el mercado tanto para el humus líquido como el sólido, sin olvidar la producción de lombrices como materia prima para la alimentación animal, ya sea para la carnada o para alimentación suplementaria de pollos, gallinas, cerdos, peces y humanos o para la producción de pie de cría.

El humus sólido en Colombia tiene un precio aproximado de \$20.000 pesos por kilogramo la cotización se hace por kilogramo dado que es la imagen que más vende. Sin embargo, cuando se cotiza por tonelada el precio está en \$400.000. El humus líquido varía en promedio a los \$3.500 pesos por litro, el vender las lombrices cultivadas a lo largo del proceso dará un ingreso por kilogramo de \$8.000. Los valores mencionados anteriormente son un promedio definido con base en diferentes empresas establecidas de vermicompostaje o lombricultivo en Colombia resaltando empresas en Norte de Santander, Antioquia y Cundinamarca, entre las cuales se resalta Lombricol, Lombricultura de Tenjo, INOER S.A.S y Sembramos con valores del 2021.

Los abonos orgánicos en Colombia como el lombricompost es una alternativa sostenible, sin embargo, en el país predominan las microempresas con un área menor a $50 m^2$ las cuales producen 80.000 toneladas al año. El crecimiento del mercado depende directamente del sector agropecuario al ser el principal cliente, el sector proyecta un crecimiento del 4% según Portafolio, 2021. Con base en las estadísticas presentadas por la Editorial La República S.A.S. en el 2021, del porcentaje total de abonos orgánicos que se generen en Colombia solo el 10% de estos son producto de la alternativa de vermicultura.

Según la referencia del mercado de venta del producto final, se hace necesario definir la cantidad teórica para los productos de humus sólido, humus líquido y pie de cría de lombriz roja californiana, este cálculo se hace bajo la primera cosecha definida en 90 días bajo condiciones óptimas, de los cuales se toman 30 días en el proceso de compostaje y 60 días para lombricultura.

El producto de humus sólido de la primera cosecha se basa en la siguiente proporción, cada lombriz es capaz de producir 0,3 gramos de humus al día. Por tanto, de una cama de lombrices con las dimensiones de diseño del proyecto abarca una cantidad de 366.000 lombrices de las cuales se obtendrá en la primera cosecha 6.588 kilogramos de humus sólido, es decir, 6,6 toneladas que representan un consumo de 8 días, equivalente a 176 toneladas de residuos orgánicos municipales. Las 6,6 toneladas tienen un valor de \$2.600.000 al precio del presente año.

Para el producto de humus líquido, el cual se genera como lixiviado del riego aplicado a la cama por aspersión debe ser recolectado semanalmente, este dado quedará pendiente al ciclo de aspersión que se haga para el control de humedad. Este dato queda a consideración de un modelo piloto.

La venta de lombrices para pie de cría, parte de una generación inicial de 366.000 lombrices por cama bajo el diseño plateado, se calcula con base en las condiciones de reproducción una población aproximada de 4.000.000 de la especie de lombriz roja californiana en la primera cosecha. Si se deja como base el 10% de la población para la próxima cosecha se tiene una población de 3.600.000 que corresponde a 3.600 kilogramos con un valor en el mercado de \$28.800.000.

Las entradas de venta anterior darían \$31.400.000 en la primera cosecha con una duración de 90 días, dejando pendiente el cálculo por ingresos del humus líquido.

En este orden de ideas, el componente ambiental toma relevancia en identificar los beneficios creados al realizar aprovechamiento de orgánicos a través de la alternativa de vermicompostaje; sin embargo, dado que la primera etapa comprende el pre-compostaje del material se consideran los beneficios recalcados en la alternativa A, consiguiendo la reducción de emisiones de metano por la descomposición de materia orgánica que llegaría a un relleno sanitario. Se ha de diferenciar que la alternativa de vermicompostaje abarca una mayor intervención del terreno al necesitar $4.757 m^2$ más que en la alternativa A. En la etapa de construcción e intervención del medio tomará relevancia las actividades de explanación, descapote y adecuación del terreno para la obra y remoción de cobertura vegetal. Continuando con el análisis se toma que el impacto paisajístico aumenta en comparación con la alternativa A.

Al analizar la etapa complementaria con el aporte de las lombrices, se genera un cambio en cuantos a los parámetros óptimos en las camas de lombricultura, en la cual se debe garantizar el riego de las camas durante 2 horas cada 3 día por el método de aspersión, lo cual implica de un consumo de agua mayor y la generación de lixiviados que deben ser manejados a través de tuberías. Sin embargo, la ventaja está en que este producto líquido proveniente de las camas de lombrices está posicionado en el mercado para su comercialización.

Por último, en esta dimensión se analizan los impactos positivos que genera el humus de lombriz a la matriz suelo. El ingeniero agrónomo Mariano Cony, (2003) en su estudio sobre los beneficios del compost versus los lombricompuestos, asegura que el vermicompost presenta menores valores de pH y una mayor concentración de nutrientes, en los análisis químicos se evidencia mayores valores para el nitrógeno y fósforo, aunque menores concentraciones de nitrógeno en forma de amonio y mayores en

forma de nitratos; lo que se traduce en una mayor concentración de nitrógeno disponible para las plantas. Sumado a ello estudios como el de Solanyi y Juan Pablo (2017) concluyen que el producto final del vermicompostaje genera un mayor crecimiento y rendimiento en cuanto al compost al ser aplicados en igualdad de dosis.

Desde el punto de vista legal, la alternativa de vermicompostaje plantea los mismos requerimientos expuestos la alternativa A de compostaje, dada la similitud tanto en el tratamiento biológico de residuos orgánicos como en la venta comercial de abono orgánico. Es por ello por lo que el análisis realizado a la resolución 0938 de 2019 es válido y vigente para esta alternativa; así como el artículo noveno de la Resolución 2041 de 2014 en su numeral 12, la Norma Técnica Colombiana 5167 del 2004 y el reglamento establecido por Instituto Colombiano Agropecuario a través de la resolución número 00150 del 2003, incluyendo las modificaciones de la resolución 0968 de 2010 y las ampliaciones hechas en la resolución 40207 de 2018.

Se finaliza el análisis legal con una ampliación de los trámites exigidos por el ICA para registro para la venta de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelos para su comercialización en Colombia, esta forma debe tener implícitos los siguientes documentos tal cual y como se publicó el sitio oficial del Instituto Colombiano Agropecuario - ICA:

1. Certificado de análisis físicos, químicos o microbiológicos, realizados por laboratorios registrados ante el ICA, o en su defecto por el fabricante en el exterior.
2. Contrato de control de calidad del producto realizado con un laboratorio registrado ante el Ica.
3. Ficha Técnica acorde con lo estipulado en la Guía 2, Contenidos de la Ficha Técnica del Producto (Resolución 150 de enero 21/03 - Anexo 8).
4. Hoja de seguridad del producto (MSDS), de acuerdo con las normas ICONTEC vigentes.
5. Soporte de recomendaciones de uso (Informe final de las pruebas de eficacia Parte final de la Guía 1).
6. Proyecto de Etiquetado por duplicado, de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana No. 40. Abonos o Fertilizantes. Etiquetado (Octava Actualización de marzo 19/2003) (Anexo 09 de la Resolución 150 de enero 21/03), o con aquella que lo sustituya o lo modifique.

7. Técnicas y/o métodos analíticos utilizados o a utilizar para realizar el control de calidad, documentada.
8. Factura de venta o recibo de pago, por la tarifa establecida por el Ica para este servicio, según resolución vigente.

En el aspecto social se ha de resaltar el potencial de aporte a mejorar la calidad de vida de las personas, en aspectos de la salud no representa ningún riesgo ni a sus trabajadores, ni a la población en general; en el componente natural trae consigo una mitigación de impactos en la matriz aire, agua y suelo, en esta última la alternativa genera un producto final capaz de fortalecer los suelos y cultivos del país. Así mismo, representa una fuente de empleos en las etapas de construcción, operación y mantenimiento. La tabla 30, contempla en la etapa de operación la disponibilidad de 13 empleos para el personal de la región.

Tabla 30.

Proyección y Descripción del Recurso Humano Necesario en la Etapa de Operación de la ECA de Vermicompostaje.

| Personal | Cantidad | Función |
|---|----------|---|
| Supervisor | 1 | Coordinar y garantizar cada una de las fases del proceso de vermicompostaje para obtener un producto final de excelente calidad. Vigilar que cada parámetro físico este dentro de los rangos óptimos de la metodología tanto para el área de compostaje como para el área de lombricultivo. |
| Operarios en sala de compostaje | 4 | Encargados del manejo y preparación de los residuos orgánicos que llegan a la ECA de vermicompostaje, así como del acompañamiento en la operación del proceso, desde la etapa de preparación hasta la etapa mesófila o de enfriamiento donde se procede a mover el producto al área de lombricultivo. Dentro de sus funciones se incluye la medición de parámetros en cada una de las pilas y el reporte de las condiciones físicas de la pila. |
| Operarios en sala de lombricultivo | 4 | Encargados del manejo del material procedente del área de compostaje, así como del acompañamiento en el proceso de lombricultivo del material pre compostado. Dentro de sus funciones se incluye la medición de parámetros en cada una de las camas y el reporte de las condiciones físicas de la misma. |
| Operarios en sala de maduración, empaque y pulimiento | 2 | Transporte del material procesado por las lombrices al área de maduración, donde los operarios deben responsabilizarse del pulimiento y empaque del abono que será comercializado. |
| Técnico de mercadeo | 1 | Profesional encargado de preparar, ejecutar y controlar la gestión comercial. Enfocado en la gestión estratégica del área de mercadeo, promoviendo la venta del abono orgánico denominado humus de lombriz. |
| Contador | 1 | Profesional encargado de llevar los estados financieros, de analizar cada uno de los gastos e ingresos y todas las actividades económicas reportadas por la ECA de Vermicompostaje. |
| Total | | 13 |

Fuente: Elaboración propia a partir de información recolectada.

El personal necesario para el sostenimiento de la planta de tratamiento consta de 1 supervisor, 4 operarios en la sala de compostaje, 4 operarios en la sala de lombricultivo, 2 operarios en la sala de maduración, empaque y pulimiento, 1 técnico de mercado y 1 contador. Las funciones básicas de los funcionarios están contempladas en la [tabla 30](#).

6.5.3 Perfil de las alternativas de tratamiento: Alternativa C - Digestión anaerobia

El proceso de digestión anaerobia se establece como una alternativa de aprovechamiento de residuos orgánicos, la cual se instaura como una metodología compleja, por ser un método que involucra diferentes reacciones y de manera simultánea. Sumado a ello, la obtención de biogás y digestato como producto final dependerá del manejo óptimo de parámetros ambientales dentro del digestor, así como de la escogencia en el diseño de este.

Tabla 31.

Parámetros y Rangos Óptimos para el Proceso de Digestión Anaerobia.

| Parámetro | Rango | Observaciones |
|-------------------------|---|--|
| Temperatura | A pesar de la gran variedad de rangos de temperatura según la literatura el más recomendado es el rango termofílico en donde se llega a temperaturas entre 50 y 65°C trayendo como ventaja una fermentación más rápida, eliminación de casi un 100% de virus y bacterias patógenas, separación sólido-líquido más rápidamente y disminución de la viscosidad de la solución. Sin embargo, este rango de temperatura trae consigo elevados costos puesto que los microorganismos que soportan estas temperaturas son muy inestables, siendo obligatorio adquirir equipos de control grado a grado. (Chiu, S., y Lo, I. 2016) | La temperatura del proceso determina la rapidez y el grado de avance de la digestión anaerobia (Mae-wan, 2008). Los cambios en la temperatura durante las dos primeras etapas del proceso no son relevantes, sin embargo, en las etapas acetogénica y metanogénica cambios drásticos en la temperatura determinan la eficiencia en la producción de biogás. (Kwietniewska, E et al., 2014) |
| pH y alcalinidad | Los microorganismos anaerobios necesitan de manera estricta un pH en torno a la neutralidad para su desarrollo correcto, aunque permiten cierta oscilación. (Clark & Speece, 1989) A su vez, otros autores como Siddharth et al., (2015), manifiestan que los valores de pH en las dos primeras etapas del proceso deben permanecer en un rango óptimo de 5,5 y 6,5 haciendo énfasis en separar el proceso en dos al unir hidrólisis-acidogénesis y acetogénesis-metanogénesis. | Dada la presencia de diferentes poblaciones de microorganismos anaerobios, los intervalos de pH y alcalinidad dependerán del grupo microbiano para alcanzar en cada fase su mayor actividad. (Chiu, S., y Lo, I. 2016) |
| Ácidos Grasos Volátiles | Bajo condiciones normales de operación este parámetro debe reportarse en bajas concentraciones o inapreciable. (Mae-wan, 2008) | Altas concentraciones son perjudiciales puesto que traen consigo una caída en los valores de pH y la inhibición de las bacterias formadoras de metano. (Mae-wan, 2008) |
| Relación C:N | La relación C:N óptima para los procesos de digestión anaerobia debe estar en el rango entre 30:1 hasta 30:1. (Nghiem, et al., 2017) | Datos extremos a este valor óptimo pueden alterar la producción de metano; por ejemplo, bajas relaciones C:N aumentan la producción de amoníaco y por tanto disminuye la producción de metano. (Nghiem, et al., 2017) |

Fuente: *Elaboración propia a partir de información secundaria.*

La tabla expuesta anteriormente determina un apoyo en el control de parámetros ambientales y de operación que se deben seguir exhaustivamente para alcanzar el máximo potencial de degradación por parte de la población de microorganismos. Los rangos permitidos para la temperatura toman relevancia en las últimas dos fases del proceso dado que cualquier cambio podría disminuir la productividad dentro del digestor, así como se resalta la importancia de supervisar el pH para las dos primeras etapas dentro de un rango de 5,5 y 6,5. Diferentes autores como Palau y Virginia, 2016 recomiendan con base en el análisis anterior manejar el diseño del sistema en dos, en donde se diferencie en un digestor las fases de hidrólisis y acidogénesis y por otro lado las fases de acetogénesis y metanogénesis.

Sumando dos factores a la [tabla 31](#), se trae a colación el tiempo de retención y la carga orgánica, estos factores son de suma importancia en la digestión anaeróbica. El tiempo de retención es el período medio de permanencia de un sustrato en el digestor, que permite el desarrollo de la población bacteriana y del proceso de producción de biogás (Palau y Virginia, 2016), este factor determinará la transformación

adecuada de la materia orgánica a biogás ya que, se debe garantizar a través del diseño del digestor que haya una cantidad y concentración suficiente de bacterias para degradación del sustrato y evitar el lavado de estas. Así mismo, la carga orgánica es determinante para esta alternativa puesto que la cantidad de materia orgánica con la que se alimentará al digestor determinará el rendimiento en la producción de biogás.

Finalmente se debe evitar la presencia de inhibidores como amoníaco, metales pesados, compuestos halogenados, cianuro y fenoles, además la presencia de pesticidas, desinfectantes o antibióticos afectan el proceso. Sin olvidar que el proceso se desarrolla en ausencia de oxígeno por tanto la concentración de oxígeno afecta a las poblaciones de bacterias. (Palau y Virginia, 2016)

Existe gran variedad de tecnologías de digestión anaerobia, diferenciadas por el diseño de construcción, sistemas de agitación, capacidad, tipo de alimentación de sustrato, recirculación entre otras características que abordan la diversidad de digestores y su grado de tecnificación; para fines prácticos de análisis y tras el estudio de diferentes tipos, se encuentra que el reactor más utilizado para la valorización de residuos orgánicos es el de mezcla completa RMC (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía IDAE, 2007). No obstante, estudios como el del doctor José María Fernández González destaca bajo la experiencia en la ingeniería de los servicios urbanos el digestor de flujo pistón como el más utilizado por las empresas públicas de aseo en España, país con mayor tiempo de desarrollo en el aprovechamiento y valorización de los residuos sólidos urbanos. Para obtener un panorama más amplio a continuación se describe un paralelo de ambas opciones:

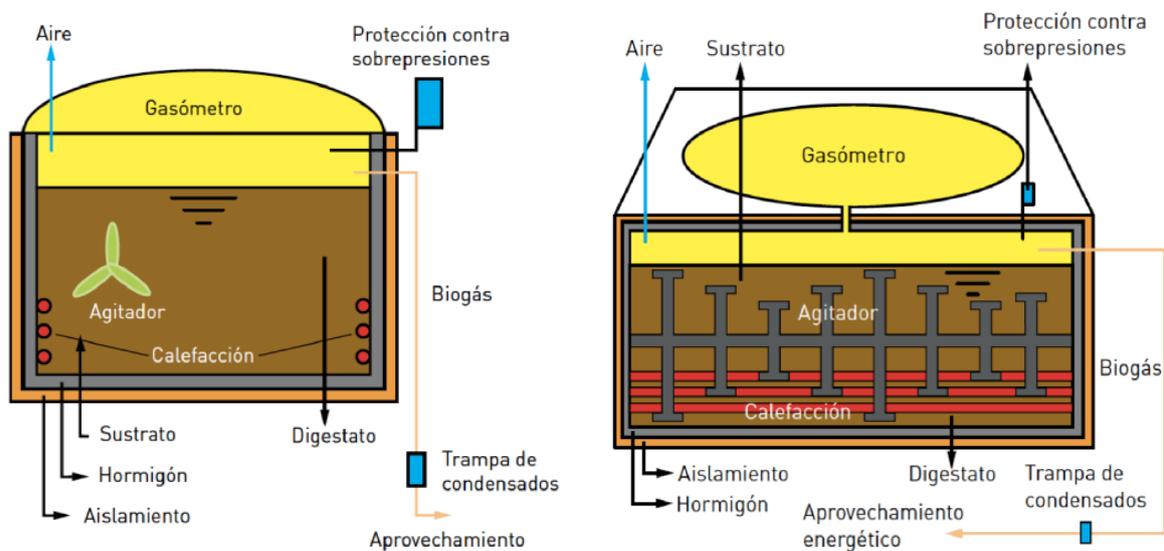
El reactor de mezcla completa se caracteriza por tener una concentración similar dentro del reactor tanto en el volumen del sustrato como en la cantidad de microorganismos. El método cuenta con un sistema de agitación que puede ser hélices o palas; horizontales, verticales u oblicuas; mecánicas, hidráulicas, neumáticas, entre otras. Su tipología de construcción está enfocada a cilindros verticales de hormigón con capacidad no superior a $2.500m^3$. Adicionalmente la aplicación del sustrato puede ser continua, es decir con una alimentación regular del digestor (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía IDAE, 2007 y PROMA, 2021). La ventaja de los digestores tipo continuo radica en la forma en la que se carga la materia orgánica, la carga que ingresa al reactor desplaza una cantidad equivalente de efluente con lo que se mantiene un volumen constante dentro del mismo (Sánchez, 2019). Así mismo

se destaca como ventaja la simplicidad y unos costos reducidos al abarcar un rango del 10 al 15% de la inversión. Los residuos más apropiados para este reactor deben prepararse hasta obtener una mezcla cuyo contenido de sólidos en el digestor no supere el 10%; por tanto, la mezcla no debe superar el 20% de sólidos totales (ST).

En cambio, la tecnología de flujo a pistón varía en cada sección transversal del reactor, su sistema de agitación horizontal cuenta con una agitación lenta mediante mezcladores de palas para favorecer el desplazamiento del material hacia la salida del digestor. Su tipo de construcción puede ser cilindros contruidos en hormigón de acero con una capacidad no superior a 1.000 m^3 . La aplicación del sustrato en el reactor puede ser por el método continuo. Por otro lado, los costos de inversión correspondientes a esta metodología corresponden al 15 o 20 % de la inversión inicial en infraestructura, sin embargo, estos costos se compensan con mayores ventajas que la tecnología de mezcla completa, se destaca un mayor rendimiento de degradación de materia orgánica, se obtiene tiempos de retención inferiores, menores riesgos de formación de costra. A diferencia de la tecnología de mezcla completa los residuos más apropiados indican una mezcla de residuos hasta el 40% de ST.

Imagen representativa 11.

Tecnologías de Digestión Anaeróbica para el Aprovechamiento y Valorización de los residuos Orgánicos Municipales.



a. Tecnología de mezcla completa

b. Tecnología de Flujo pistón

Fuente: Conama, 2014.

En todo caso y según el tipo de digestor utilizado, expertos recomiendan realizar un proceso de pretratamiento, con esto se busca homogeneizar el sustrato con el que se alimenta el reactor para conseguir condiciones óptimas y un proceso eficiente en términos del producto final. En esta etapa previa es importante controlar factores como el tamaño de partícula, espesamiento, calentamiento, control de alcalinidad y pH, eliminación de metales y eliminación de gérmenes patógenos. (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía IDAE, 2007)

Tomando como referencia los objetivos del proyecto se determinó analizar la tecnología de mezcla completa dado sus bajos costos de inversión, simplicidad y buen funcionamiento. Este diseño maneja tiempos de retención desde los 20 hasta los 40 días, dependiendo de la temperatura del sistema, en este caso es recomendable manejar el parámetro de temperatura en rangos mesófilos para alcanzar condiciones óptimas (Nicora, 2020). Considerando que los residuos sólidos municipales sustentan un contenido de metano de aproximadamente el 60%, dependiendo de la relación C/N específica para cada municipio. (Castillo et al., 2003)

Para realizar una proyección de la planta de valorización de residuos orgánicos a través del proceso de digestión anaerobia se deben calcular diferentes factores de diseño; estos deben estar sujetos a una caracterización física y química de la materia orgánica municipal, puesto que es necesario conocer parámetros como el peso, la humedad, el volumen de la carga, los sólidos totales, los sólidos fijos, los sólidos volátiles, el pH, el nitrógeno orgánico total, el carbono orgánico oxidable total, la demanda química de oxígeno y los ácidos grasos volátiles. Además, es de suma importancia analizar la prueba del potencial de metano, cuyo proceso permite evaluar la máxima cantidad de metano que se puede generar en la biometanización. Los anteriores criterios deben ser evaluados para tener certeza del área de ocupación para el tratamiento de los residuos, por tanto los elementos de instalación como el tanque de carga, componente de la planta cuya función es el alojamiento del sustrato y del agua que ingresaran al digestor; el tanque de descargue, infraestructura que almacena el efluente o biofertilizante producido en el proceso; biodigestor, componente principal que almacena la materia orgánica para el proceso de degradación anaerobia; el conducto de carga, su función es transportar el sustrato desde el tanque de carga al digestor; el conducto de descarga, el cual permite el transporte del material estabilizado o biofertilizante al exterior del digestor; el agitador, mecanismo necesario para la homogeneización del

sustrato cuando se tratan grandes volúmenes; el reservorio, su importancia radica en almacenar el biogás producido en el proceso este es transportado través de una tubería que parte del biodigestor al reservorio mencionado y los accesorios deberá ser evaluados bajo el análisis de estadísticas de laboratorio, cálculos reales y la experiencia crítica del ingeniero. (Changandro y Maníto, 2010)

Tabla 32.

Zonas de la planta de Digestión Anaerobia

| No | Zonas de la planta de Digestión Anaerobia |
|----|---|
| 1 | Zona o foso de recepción para acumular los residuos |
| 2 | Zona de procesado y manipulación previa al biodigestor |
| 3 | Zona para procesado del digestato |
| 4 | Edificaciones para la gestión y funcionamiento de la planta |
| 5 | Control de accesos |
| 6 | Oficinas |
| 7 | Almacén |
| 8 | Servicios sanitarios |
| 9 | Circulación Peatonal |
| 10 | Circulación vehicular o de equipos |
| 11 | Áreas de parqueo |
| 12 | Retiros y paisajismo |

Fuente: *Elaboración propia.*

La tabla anterior expresa cada una de las áreas que debe incluir como unidad mínima la planta de digestión anaerobia para su funcionamiento. Las áreas específicas de esta alternativa abarcan los ítems del 1 al 3, en donde la zona de recepción o foso de recepción cumple con la actividad de acumular los residuos de dos días como mínimo para garantizar la continuidad del proceso; la zona de procesado y manipulación previa al biodigestor es necesaria para eliminar elementos impropios que pueden traer los residuos municipales, antes de entrar al biodigestor, así como homogeneizar la mezcla de residuos. Por último, en el ítem 3 se resalta la necesidad de una zona para procesado del digestato. A pesar de que no se menciona en la tabla anterior es conveniente contar con un relleno sanitario para disponer los residuos impropios eliminados en la etapa preliminar, así como el digestato o producto final que no cuente con salida comercial. Sumado a ello se debe prever la disponibilidad o acceso al relleno sanitario para llevar los residuos en caso de no funcionamiento de la planta de tratamiento, ya sea por labores de mantenimiento o roturas de algún componente de la planta.

Tomando como referencia el análisis anterior, se reporta un área de ocupación de 10.000 m^2 mínimos para el tratamiento y valorización de 22 toneladas / día de residuos orgánicos, contando con un tiempo de retención de 30 días bajo cálculos de la literatura. (Fernández, 2021)

Como toda obra de infraestructura, la planta de valorización de residuos orgánicos por digestión anaerobia trae consigo diferentes impactos al medio ambiente, tanto positivos como negativos. El sistema para implementar conocido como un mecanismo de producción limpia permite reducir la cantidad de gases efecto invernadero que se generarían por la degradación de la materia orgánica sin control alguno en un relleno sanitario. Este impacto positivo permite valorizar la producción de compuestos como CH_4 , CO_2 , H_2S y NH_3 al convertirlos en biogás como producto final, el cual puede ser usado para la generación de electricidad, calor, combustible o gas natural según sea el caso. Con base en lo anterior se tiene una alternativa proyectada a la generación de energía limpia, segura, descentralizada y confiable. El beneficio ambiental radica en evitar que 22 toneladas /día lleguen al relleno sanitario a ocupar $44\text{ m}_3/\text{día}$, al aprovechar estos residuos orgánicos se genera un espacio que permite almacenar los residuos inertes aumentando la vida útil del relleno sanitario. Esta alternativa contribuye a mitigar por cada kilogramo de residuos orgánicos $0,1\text{ m}_3$ de gas metano que contaminan la atmósfera (Eriksson et al., 2015). Con base en lo anterior, se tiene que la generación de metano de 1 tonelada corresponde a 100 m_3 , proyectándolo a la generación de 22 toneladas/ día que llegan del municipio de Pamplona se tendría una generación de 2.200 m_3 al día llegando a 66.000 m_3 al mes.

Así mismo, se obtiene un aporte rico en nutrientes que puede ser empleado para la fertilización de los suelos en finca, áreas de reforestación o cultivos, el digestato usado como fertilizante orgánico capaz de continuar con el ciclo químico de nutrientes y de ser una mejor opción ante los fertilizantes químicos. El producto generado por la alternativa, denominado digestato, permite la recirculación de nutrientes, destacando la recuperación de fósforo, nutriente mineral esencial para la producción de alimentos. (Nghiem, et al., 2017)

Sus mayores impactos negativos radican en el montaje de su infraestructura, el cual requiere de la intervención del terreno en actividades como descapote y remoción de la cobertura vegetal. Por otro

lado, el diseño abarca un estilo más dominante y contrastante ante el medio que lo rodea, trayendo consigo un impacto paisajístico.

Desde el punto de vista legal se trae a consideración la siguiente normativa, la cual rige el uso y producción de biogás en Colombia:

En primer lugar, se presenta la Resolución 135 de 2012, por la cual se adoptan normas aplicables al servicio público domiciliario de gas combustible con Biogás; donde se establece las actividades y obligaciones de comercialización desde la producción, transporte, distribución y comercialización del servicio público domiciliario de gas combustible con Biogás que realice cualquiera de las personas autorizadas por el artículo 15 de la Ley 142 de 1994.

La Ley 1715 de 2014, por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional, esta Ley también incluye el aprovechamiento de la biomasa agrícola, la energía de los residuos y de los cultivos forestales energéticos (destinados a generar energía). La Ley proporciona oportunidades técnicas y de mercado para aumentar la producción de bioelectricidad, biogás y biocombustibles con el fin de que el país consiga obtener su meta del 15,0% de la capacidad instalada correspondiente a energías renovables no convencionales en 2029 y a reducir en 20,0% las emisiones de GEI a 2030.

El gobierno nacional presenta beneficios hacia los generadores de energía no convencional, con el objetivo de motivar y potenciar esta alternativa. Se destaca la Ley 788 de 2002 por la cual están exentos del impuesto de renta sobre los ingresos derivados de la venta de energía eléctrica generada a partir de residuos agrícolas, fuentes eólicas y biomasa. Adicionalmente, el País se adhirió al Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Ley 629 de 2000) priorizando la reducción de emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI), por lo cual las energías renovables se convirtieron en una opción estratégica para Colombia.

En el componente social se destaca la alternativa como una tecnología con cierto potencial para ser abordado, actualmente está categorizada en el país como una alternativa nueva, con alto nivel de inversión respecto a las demás, así mismo, su nivel de complejidad aumenta en cuanto a tecnologías de procesamiento y mantenimiento. En cuanto a la mano de obra utilizada se requieren profesionales calificados y especializados en la tecnología de digestión bajo un método de mezcla completa y

continua, se destaca menos mano de obra necesaria en producción. De este modo los empleos que se generan tanto en la etapa de construcción como de producción deben pasar filtros profesionales especializados en el diseño y operación de los reactores.

La alternativa de valorización y aprovechamiento de materia orgánica por digestión anaerobia representa una oportunidad de innovación en la región al ser un proceso de producción limpia y sostenible.

7. Evaluación de alternativas para el tratamiento y valorización de los residuos orgánicos municipales.

En relación con este ítem se evalúa de manera comparativa cada una de las tres alternativas analizadas en el numeral 6.5. La evaluación y puntuación a cada una de estas, toma relevancia en el análisis hecho a lo largo del proyecto, donde se examinó minuciosamente cada aspecto con relación a las condiciones del municipio de Pamplona y la cuantificación de los residuos orgánicos.

Los aspectos demarcados en la matriz de evaluación serán definidos a continuación para resaltar los criterios por los cuales se favorece o demerita la alternativa

El aspecto técnico, toma a consideración el proceso que lleva a cabo la materia orgánica desde que entra a la planta de tratamiento, su preparación, transformación según sea la tecnología implementada hasta obtener el producto final. Para ello se consideraron las etapas del proceso, los parámetros de control, los parámetros ambientales y la elección tecnológica con la que se lleva a cabo la transformación y valoración de la materia orgánica.

En el aspecto operacional se evalúa la facilidad y proyección del funcionamiento de la planta de tratamiento y valorización de residuos orgánicos, así como el área necesaria para la infraestructura de la planta. Además, se contempla la distribución espacial y proporciones de las tecnologías a evaluar.

El aspecto económico incluye la evaluación de algunos costos operacionales en cuanto a equipos y maquinaria, además se integra el ingreso financiero por la venta del producto final.

En el aspecto ambiental toma relevancia la evaluación de impactos sobre la matriz aire, agua y suelo, esta evaluación se contempla tanto para la fase de construcción como de operación del proyecto.

Adicionalmente se toma en consideración la producción sostenible o generación de desechos al medio natural.

En el aspecto legal se evalúa cada una de las normativas relacionadas directamente con las metodologías de tratamiento de residuos orgánicos en Colombia que fueron escogidas para este proyecto, es decir aquellas Leyes, Resoluciones, Decretos, normas o documentos que reglamentan las alternativas en cualquier fase de desarrollo, implementación, ejecución o distribución final del producto.

La evaluación realizada en el aspecto social se basó en las expectativas que se crean para los habitantes la construcción, operación y ejecución del nuevo proyecto, así como los beneficios o perjuicios que le traería al municipio el desarrollo del proyecto.

Tabla 33.

Evaluación Inicial de Alternativas para el Tratamiento y Valorización de los Residuos Orgánicos Municipales.

| Aspecto / Alternativa | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C |
|-----------------------|---------------|---------------|---------------|
| Técnico | 5 | 4 | 3 |
| Operacional | 5 | 3 | 3 |
| Económico | 4 | 3 | 3 |
| Ambiental | 4 | 4 | 5 |
| Legal | 4 | 4 | 5 |
| Social | 3 | 4 | 2 |
| Total | 25 | 22 | 21 |

Fuente: *Elaboración propia.*

La evaluación inicial de las alternativas con respecto a los 6 aspectos considera valores definidos en un rango de 1 a 5, en donde el 5 representa el puntaje más favorable y la calificación de 1 evidencia la condición desfavorable. En la primera evaluación cada aspecto tiene el mismo peso, con ello la máxima calificación que puede alcanzar una alternativa corresponde a 30 y la mínima a 6.

Al observar la tabla 33, se resalta que la alternativa A correspondiente al método de compostaje obtiene 25 puntos de los 30 posibles, siendo la alternativa con mayor favorabilidad; seguido de la alternativa B, metodología de vermicompostaje y por último la alternativa C de digestión anaeróbica. Los valores más favorables se alcanzaron para la alternativa A, en los aspectos técnico y operacional. Así mismo, la alternativa C también alcanzó sus valores más favorables en el aspecto ambiental y legal, sin embargo,

esta alternativa tiene los puntajes menos favorables en el resto de las categorías en especial en el aspecto social.

Tabla 34.

Evaluación por Representatividad de Alternativas para el Tratamiento y Valorización de los Residuos Orgánicos Municipales.

| Aspecto | Representatividad (%) | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C |
|--------------|-----------------------|---------------|---------------|---------------|
| Técnico | 22% | 1,1 | 0,88 | 0,66 |
| Operacional | 22% | 1,1 | 0,66 | 0,66 |
| Económico | 15% | 0,6 | 0,45 | 0,45 |
| Ambiental | 15% | 0,6 | 0,6 | 0,75 |
| Legal | 15% | 0,6 | 0,6 | 0,75 |
| Social | 11% | 0,33 | 0,44 | 0,22 |
| Total | 100% | 4,3 | 3,6 | 3,5 |

Fuente: Elaboración propia.

La segunda evaluación se realizó incluyendo la representatividad de cada aspecto, donde la mayor representatividad le corresponde el aspecto técnico y operacional (22%). Seguido de los aspectos económico, ambiental y legal (15%) y en tercer lugar el aspecto social (11%). La representatividad de los anteriores aspectos fue calculada partiendo de un total del 100%.

Los puntos obtenidos en la calificación inicial fueron cruzados y evaluados según la representatividad del aspecto. Esta segunda evaluación da el resultado final, en donde la calificación máxima llega a 5,0 puntos y la mínima a 1,0 puntos.

Los resultados reflejados en la [tabla 34](#) dan evidencia de que la alternativa de compostaje se sitúa como el mejor método para el tratamiento y valorización de los residuos orgánicos en el municipio de Pamplona, esta alternativa sobrepasa en 0,7 puntos al vermicompostaje y en 0,8 a la digestión anaerobia, reportando sus mejores valores en el aspecto técnico y operacional.

8. Conclusiones

El municipio de Pamplona, ubicado en el departamento Norte de Santander a la fecha de realización del estudio cuenta con 3 prestadores del servicio público de aseo; la empresa de servicios públicos EMPOPAMPLONA S.A E.S.P encargada de las actividades de recolección, transporte, barrido,

limpieza de vías y áreas públicas, corte de césped y poda de árboles en las vías y áreas públicas, por otro lado la Asociación Ambiental de Aseo y Reciclaje RENACER y la Nueva Corporación Ambientalista de Ecología y Paz NUEVA CAREP encargados de la prestación del servicio público de aseo en la actividad de aprovechamiento. Bajo los aspectos de la actividad de recolección y transporte la empresa EMPOPAMPLONA S.A E.S. P tiene una cobertura de 98,5% del área urbana. El municipio maneja la disposición final de residuos sólidos bajo el esquema de relleno sanitario, el cual es de clase regional y cuenta con una vida útil de 4 años según la autorización ambiental. En cambio, en la actividad de aprovechamiento la Asociación Ambiental de Aseo y Reciclaje RENACER, realiza 48 rutas selectivas, en total se abarca una cobertura de 96,6 %.

Con base en los resultados de caracterización física, se obtiene de manera general que en el casco urbano los residuos orgánicos tienen la mayor generación con una representación 57,71% integrado por residuos de comida, huesos y residuos de jardín, otros residuos como el Plástico (9,23%), Cartón (6,80%), Plástico PET (6,34%) siguen en la lista. Así mismo, los residuos ordinarios con 5,54 %, residuos peligrosos con 4,44%, papel con 2,66% y vidrio con 2,29%. Los residuos especiales en el sector residencial caracterizados por escombros o residuos de construcción constituyen el 1,64%.

Según la información recopilada, el 86,7% de los residuos se genera en el sector residencial, seguido del sector comercial con un aporte de 7,8%, mientras que en el sector oficial el porcentaje de residuos es muy bajo, alcanzando un 4,2%. A nivel socioeconómico la mayor producción de residuos sólidos es generada por el estrato 2, con un 36,56%; seguido del estrato 3, con un 29,65%, el estrato 1 con un 23,94% y en menor proporción el estrato 4, con un aporte del 9,83%.

Complementando el párrafo anterior se obtuvo en disposición final una composición física de la siguiente manera, los residuos correspondientes a materia orgánica son los que tuvieron el mayor porcentaje de generación con un 52,12 % de los cuales los residuos de comida ocupan el mayor porcentaje 50,07%, huesos con 1,05% y residuos de jardín 1,00%. Los residuos ordinarios tuvieron un porcentaje considerable de generación (9.57 %), seguido del plástico (5,57 %), residuos peligrosos (4,68 %) y plástico PET (4,06 %). Por su parte, los residuos de madera, papel, cartón, vidrio, tela o textil,

RAEES, metal, caucho o cuero, huesos y residuos de jardín ocupan porcentajes de generación menor al 4,00 % y los residuos especiales se generaron en un 0,30 %.

En el tema de aprovechamiento se encontró que el 42,53% realiza aprovechamiento de materia orgánica en su hogar. Haciendo un análisis por estratos socioeconómicos, se tiene que el estrato 1 tiene una representatividad del 53,57% realiza aprovechamiento de residuos orgánicos en su hogar; para el estrato 2 el 20,00%, para el estrato 3 un 17,07% y el estrato 4 con menor porcentaje de aprovechamiento con el 13,33% de la población encuestada. Identificando que a mayor estrato menor aprovechamiento de residuos orgánicos. Como información adicional se tiene que más de la mitad de la población (51%), que aprovecha los residuos orgánicos lo hace como alimento de animales.

La proyección total de residuos sólidos del municipio a partir de una generación per cápita 0,57 kilogramos/ habitante-día para el periodo de diseño de 25 años se estima una generación de residuos de 1.098,6 ton/ mes y 13.366,3 ton/año. Ahora bien, la generación de residuos sólidos orgánicos da a entender el potencial de aprovechamiento a 25 años se estima una generación de 636 ton/mes y 7.738 ton/años, a través de una generación per cápita para orgánicos de 0,33 kilogramos/ habitante-día.

La implementación de la planta de tratamiento de residuos orgánicos por compostaje requiere un conocimiento teórico del proceso productivo, en donde es importante mantener el control y seguimiento de cada uno de los factores físicos y químicos a fin de obtener un producto final de excelente calidad. Este método se analizó bajo la tecnología de aireación forzada y el diseño de las pilas se elige en forma trapezoidal con una base mayor de 4 metros, la base menor de 1,5 metros, una altura de 2,6 metros y una longitud de 50 metros. Con una capacidad de procesamiento de 22 ton/día de residuos orgánicos municipales, es necesario contar con el diseño de 4 pilas de compostaje con una capacidad de $357,5m^3$. El área para la sala de compostaje es de $1.710m^2$, sumando las áreas de proceso se obtiene un área de aprovechamiento total de $3.420 m^2$ (30 metros x 114 metros). En términos económicos, al final del proceso se obtiene $143 m^3$ de abono orgánico, equivalente a 71,5 toneladas. Con base en los precios manejados en el mercado se obtiene un ingreso de \$12.870.000 al finalizar los 30 días de cosecha. Realizando una proyección de 3 meses de \$38.610.000. Los estudios demuestran que una planta de

tratamiento por compostaje deja de emitir $30,16 \text{ gCO}_2\text{e}$ x kg residuo orgánico tratado menos que un vertedero urbano. Sumado a ello aporta impactos positivos en el aspecto social.

El método de vermicompostaje mantiene el mismo diseño para la etapa de compostaje, sin embargo, en la etapa de lombricultivo abarca el diseño de 8 camas con dimensiones de 2 ancho * 61 largo * 1 altura; con una ocupación total de 64 días. Únicamente el área de vermicompostaje se abarca 4.087m^2 con 31 metros de ancho y 134 metros de longitud, sumando las áreas de proceso se obtiene un área de aprovechamiento total de 8.174 m^2 (62 metros x 134 metros). En el aspecto económico los costos generados en equipos alcanzan los \$156.086.000, estando por encima de la alternativa A en \$15.462.000 y en los ingresos se consideran en aproximadamente \$31.400.000 en la primera cosecha con una duración de 90 días, dejando pendiente el cálculo por ingresos del humus líquido. Es importante resaltar que la alternativa contempla la etapa de operación, la disponibilidad de 13 empleos para el personal de la región.

En la alternativa de digestión anaerobia se contempla la tecnología de mezcla completa dado sus bajos costos de inversión, simplicidad y buen funcionamiento. Su tipología de construcción está enfocada a cilindros verticales de hormigón con capacidad no superior a 2.500m^3 para una capacidad de mezcla cuyo contenido de sólidos en el digester no supere el 10%; por tanto, la mezcla no debe superar el 20% de sólidos totales (ST). Se reporta un área de ocupación de 10.000 m^2 mínimos para el tratamiento y valorización de 22 toneladas / día de residuos orgánicos. El aspecto económico requiere de estudios especializados para conocer a ciencia cierta la producción de metano y su demanda en el mercado, a pesar de eso se proyecta una generación de 66.000 m_3 al mes. Esta alternativa representa una oportunidad de innovación en la región al ser un proceso de producción limpia y sostenible.

9.Recomendaciones

El desarrollo e implementación de proyectos requiere de estudios previos en diferentes disciplinas, en el caso del aprovechamiento de residuos orgánicos es importante abordar una caracterización biológica de la materia orgánica. Para ello en primera instancia se debe gestionar a la obtención de resultados cuantificables sobre análisis fisicoquímicos, donde se definan parámetros como la humedad, textura, la

relación C/N, composición de nitrógeno, fósforo, presencia o ausencia de Coliformes Totales, E Coli y Salmonella.

Puesto que el proyecto expuesto en el presente documento toma como base para su análisis la proyección de generación per cápita, se recomienda cuantificar específicamente la proyección de residuos orgánicos para el sector comercial, oficial e industrial, resaltando el potencial que tiene el sector comercial por la cantidad de restaurantes, panaderías, hoteles y establecimientos de comida que hay en el municipio. Los sectores económicos anteriormente mencionados deberían a través de su plan de manejo integrado de residuos sólidos (PMIRS) presentar un plan de acción que incluya prevención, separación, almacenamiento, recolección y tratamiento de los residuos sólidos generados, en especial aquellos que tienen la capacidad de volver al ciclo productivo. No obstante, es el municipio el que tiene la capacidad de exigir la creación e implementación del mismo.

Así mismo, con el fin de establecer un punto de partida con las condiciones adecuadas para el tratamiento y valorización de residuos orgánicos por compostaje, se debe realizar un plan piloto. El plan piloto se debe regir de ciertos criterios y requisitos con el propósito de evaluar la fase de operación del proceso lo más cercano a la realidad. Este debe abarcar datos de generación reales que llegaría a la planta de tratamiento, tomando en cuenta el número de viajes planteados por la empresa de servicios públicos, ya sea 2 o tres veces por semana durante una semana según se requiera. Además, se debe implementar con la misma tecnología que se usaría a escala real en el dimensionamiento de la planta. El proyecto piloto da pie a adaptar los parámetros de operación y control que se manejan en las pilas, entre otros factores como la adición óptima de material de mezcla y espacio requerido. Por otro lado, abre paso a la adecuación inicial del terreno, la maquinaria, los operadores y en especial a calcular los tiempos característicos para el municipio de Pamplona.

La ejecución del plan piloto da resultados importantes, ya que se puede obtener un resultado físico de la calidad del producto final, lo cual permite realizar las pruebas necesarias de laboratorio para determinar la calidad del producto que será vendido, así como el porcentaje real que se obtiene de cierta materia prima que entra a la planta.

Por otro lado, es indispensable definir la ubicación que tendrá la planta de tratamiento y valorización de residuos orgánicos, así como las condiciones físicas, geológicas y ambientales del predio.

Adicionalmente, establecer las condiciones que hacen falta para la adecuación del terreno, es decir, gastos para vías de acceso, estabilización del terreno, entre otros aspectos que serán determinados por el profesional especialista.

El éxito del proyecto se basa en tener personal con la capacidad de dirigir, controlar y operar cada uno de los detalles necesarios para obtener de manera óptima el tratamiento de residuos orgánicos. El personal debe tener claros tanto los procesos técnicos como teóricos del proceso a fin de garantizar que cada una de las etapas que se llevan a cabo en la planta se cumpla a cabalidad y se obtenga como producto final un abono orgánico de excelente calidad para ser vendido en el sector agropecuario.

Con relación al producto final, es importante idear de la mano del municipio proyectos con el sector agropecuario, a fin de incentivar a los campesinos de la región a abastecerse de un producto orgánico de alta calidad, creado por una empresa pamplonesa que aporta múltiples beneficios para toda clase de cultivos. La gestión de proyectos, incentivos, capacitaciones o foros creará en los productores de la región un panorama más amplio sobre las mejores prácticas para el cuidado de cultivos, suelos, agua y aire.

Para garantizar el éxito del proyecto en el tiempo se debe llevar a cabo una constante capacitación de los habitantes del municipio en temas de separación en la fuente, recordando la correcta disposición en el hogar y la diferenciación de recipientes. Además, se debe informar a todos los usuarios de servicio de aseo las rutas asignadas de acuerdo al residuo que será transportado por el carro recolector. Pero no solo a los usuarios sino también a los operarios de recolección ya que serán ellos los encargados de asegurarse que sector o barrio está haciendo una buena separación en la fuente y quien ha incumplido con los propósitos del municipio.

Con base en las experiencias de tratamiento de orgánicos de diferentes empresas del servicio público de aseo en el departamento de Antioquia, se llegó a la conclusión de que el principal problema en la etapa de preparación es la dificultad y tiempo invertido en retirar las bolsas plásticas en las que viene el residuo orgánico. Por tanto, se deja a decisión de la empresa el estudio económico sobre la inversión de implementar bolsas biodegradables destinadas al uso exclusivo de los usuarios para su material orgánico. Esta inversión puede disminuir el tiempo de operación transcurrido después de la llegada de los carros recolectores hasta el momento de mezcla del material. Sin embargo, esta no sería la única

alternativa existe maquinaria especializada en rasgar las bolsas plásticas y separarlas del residuo orgánico es por esto que se sugiere realizar un estudio de viabilidad.

Sumado a lo anterior, se plantea la necesidad de un estudio económico a detalle sobre la alternativa seleccionada para dar cuenta del potencial financiero que tiene el proyecto, donde se tengan en cuenta los registros financieros y la rentabilidad de este. Para ello se debe hacer una evaluación en paralelo sobre los recursos disponibles para la inversión en las etapas de construcción y operación; y la evaluación de la relación beneficio/ costo.

10. Bibliografía

Agroflor. Lombricultura (2004). *Manual de Lombricultura*.
<http://agro.unc.edu.ar/~biblio/Manual%20de%20Lombricultura.pdf>

Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría Distrital de Hábitat., y Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias. (2018). *Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura*. Tomada de: https://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf

Alcaldía de Pamplona (2002). *Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Pamplona*. (P. O. T) Pamplona Norte de Santander.

Alcaldía de Pamplona (2015). *Plan Básico de Ordenamiento Territorial municipio de Pamplona*. Modificación excepcional del Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT).

Arguello, H., (1991). *La descomposición de la materia orgánica y su relación con algunos factores climáticos y microclimáticos*. Agronomía Colombiana. Volumen 8, número 2: 384-388. Recuperado a partir de:

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/33947/21129-71663-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Aristizábal, Z., Beatriz, H., Vanegas, E., Estefanía y Mariscal, J., y Camargo, M., (2015).

Digestión anaerobia de residuos de poda como alternativa para disminuir emisiones de gases de efecto invernadero en rellenos sanitarios. Energética, (46), 29-36. ISSN: 0120-9833. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=147043932005>

Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental-ACODAL. (2021). *Diseño, puesta en marcha de instalaciones de aprovechamiento de los residuos orgánicos.*

Batstone, D., Angelidaki, I., Kalyuzhnyi, S., Pavlostathis, S., Rozzi, A., Sanders, W., Siegrist, H., y Vavilin, V. (2002). Anaerobic digestion model No 1 (ADM1). *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research.* 45. 65-73.

Camargo, Y., y Vélez, A. (2009). *Emisiones de biogás producidas en rellenos sanitarios.* Grupo de Investigación en Modelación de Sistemas Ambientales- GIMSA. Instituto de Investigaciones Tropicales INTROPIC, Laboratorio No. 7. Universidad del Magdalena. Carrera 32 No. 22-08, Santa Marta-Colombia. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Andres-Velez-Pereira/publication/276062721_EMISIONES_DE_BIOGAS_PRODUCIDAS_EN_RELLENOS_SANITARIOS/links/5606714a08aeb5718ff2a9a2/EMISIONES-DE-BIOGAS-PRODUCIDAS-EN-RELLENOS-SANITARIOS.pdf

Canizales, S., Castro, C., Saldarriaga, J., y Molina, F. (2013). *Evaluation of mature landfill leachates Treatment systems: the case of the landfill Curva de Rodas (Medellín-Colombia).* Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, (69), 300-

316.http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302013000400024&lng=en&nrm=iso

Carrasco, M. (2014). *Impactos sociales y ambientales generados por la operación del relleno sanitario de tunja sobre el municipio de oicata-boyacá*. Tesis o trabajo de investigación. Universidad de Manizales. <https://docplayer.es/58476534-Impactos-sociales-y-ambientales-generados-por-la-operacion-del-relleno-sanitario-de-tunja-sobre-el-municipio-de-oicata-boyaca.html>

Castañeda, S., y Rodríguez, J., (2017). *Modelo de aprovechamiento sustentable de residuos sólidos orgánicos en Cundinamarca, Colombia*. *Universidad Y Salud*, 19(1), 116-125. <https://doi.org/10.22267/rus.171901.75>

Castillo, M., Cristancho, D., Arellano, V., (2003). *Estudio de las condiciones de operación para la digestión anaerobia de residuos sólidos urbanos*. *Revista Colombiana de Biotecnología*, ISSN-e 1909-8758, ISSN 0123-3475, Vol. 5, N°. 2, 2003, págs. 11-22 <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2351991>

Changandro, K., y Manitio, G., (2010). *Diseño y construcción de un biodigestor para pequeñas y medianas granjas*. Recuperado a partir de: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1650/1/CD-2734.pdf> CONPES (2016). *Consejo Nacional De Política Económica y Social 3874. Política Nacional Para La Gestión Integral de Residuos Sólidos*. República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación.

Chiu, S. y Lo, I., (2016). *Reviewing the anaerobic digestion and co-digestion process of food waste from the perspectives on biogas production performance and environmental impacts*. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(24), 24435-24450.

Corponor. (2019). *Plan de Acción 2020- 2023*. Anexo 1, Aportes del Plan de Acción PAI 2016-2019. Tomado de:

http://corponor.gov.co/corponor/PLAN_ACCION_2020_2023/ANEXO_1_APORTE_PAI_2016-2019_AL_PGAR.pdf

Decreto 0048 de 2020. Alcaldía de Pamplona. Pamplona, Norte de Santander. República de Colombia, 22 de mayo de 2020.

Decreto 1077 de 2015. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Bogotá, Colombia 26 de mayo de 2015

Decreto 1505 de 2003. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, Colombia. 06 de junio de 2003.

Decreto 1713 de 2002. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio Bogotá, Colombia. 6 de agosto de 2002.

Díaz, E., (2002). *Guía de lombricultura. Lombricultura una alternativa de producción para emprendedores y productores*. <https://biblioteca.org.ar/libros/88761.pdf>

Eriksson, M., Strid, I., y Hansson, P., (2015). Carbon footprint of food waste management options in the waste hierarchy—a Swedish case study. *Journal of Cleaner Production*, 93, 115-125.

Eslava, J. (1992). Perfil altitudinal de la temperatura media del aire en Colombia. *Earth Sciences Research Journal*, (1), 37-52. Recuperado a partir de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/esrj/article/view/31200>

Evert, K., Ballard, E., Elsworth, D., Oquiñena I., Schmerber J., Stipe, R., (2010). *Encyclopedic Dictionary of Landscape and Urban Planning*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://aplicacionesbiblioteca.udea.edu.co:2399/10.1007/978-3-540-76435-9_11247

- Ferreira, V., Pié, L., y Terceño, A. (2018). "A Systematic Literature Review of Bio, Green and Circular Economy Trends in Publications in the Field of Economics and Business Management" Sustainability 10, no. 11: 4232. <https://doi.org/10.3390/su10114232>
- Flores, D. (2001). *Guía Práctica N° 2. Para el Aprovechamiento de Residuos Orgánicos*. Elaborado por IPES Promoción del Desarrollo Sostenible. 64p. (Cuaderno de trabajo N° 110. Miniserie: Guías para la Gestión de Residuos Sólidos en ALC). Quito: programa de Gestión Urbana / UN. HÁBITAT.
- Grupo Banco Mundial (2019). *Convivir con basura: el futuro que no queremos*. Tomado de: <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2019/03/06/convivir-con-basura-el-futuro-que-no-queremos>
- ICONTEC. (2009). *Guía Técnica Colombiana GTC-24*. Gestión ambiental. Residuos Sólidos. Guía para la separación en la fuente. Definiciones, 2003. p. 2-4
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales., Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible., y La Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (2015). *Estudio Nacional de La Degradación de Suelos por Erosión en Colombia*. Bogotá DC-Colombia: IDEAM.
- Kaza, Silpa., Yao, Lisa C., Bhada-Tata, Perinaz., y Van Woerden, Frank. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Desarrollo Urbano. Washington, DC: Banco Mundial. Banco Mundial. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>
- Krause, M., Chickering, G., Townsend, T., y Pullammanappallil, P. (2018). *Effects of temperature and particle size on the biochemical methane potential of municipal solid waste components*. Waste Management, 71, 25-30.

- Liu, Y., Lu, W., Wang, H., Gao, X., y Huang, Q. (2019). *Improved impact assessment of odorous compounds from landfills using Monte Carlo simulation*. Science of the total environment, 648, 805-810.<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.213>
- Liu, Y., Tang, H., Smith, P., Zhong, C y Huang, G., (2021). *Comparison of carbon footprint and net ecosystem carbon budget under organic material retention combined with reduced mineral fertilizer*. Carbon Balance Manage 16, 7 (2021).
<https://doi.org/10.1186/s13021-021-00170-x>
- López, I., y Gracia, R. E. (2013). *Valoración económica de la contaminación por olores en el área de influencia del relleno sanitario El Carrasco: una aplicación de la metodología de precios hedónicos*. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2006/121827.pdf>
- Melendrez, N., y Sánchez, J. (2019). *Compostaje de residuos sólidos orgánicos utilizando microorganismos eficientes en el distrito de Cacatachi*. Universidad peruana unión. Facultad de ingeniería y arquitectura. Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.
<http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/1777>
- Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente. (2013). *El Compostaje: Receta para Reducir la Huella de Carbono en España. Comparativa de la huella de carbono de los distintos sistemas de gestión de los residuos orgánicos municipales mediante diferentes escenarios de recogida y tratamiento*. Recuperado a partir de:
https://www.tierra.org/wp-content/uploads/2016/01/compostaje_reducir_huella_carbono_estatal.pdf
- Ministerio del Ambiente - MINAM. (2019). *Guía para la Caracterización de Residuos Sólidos Municipales*. Resolución Ministerial. 457-2018-MINAM. Perú Viernes, 4 enero, 2019.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial. (2003). *Definición del nivel de complejidad y evaluación de la población, la dotación y la demanda de agua* VERSIÓN 2003. Bogotá DC: Guía RAS, 1

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico - VASB y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Dirección de Asuntos Ambientales Sectorial y Urbana. (2014). *Planes de gestión integral de residuos sólidos. Metodología para la formulación, actualización, implementación y seguimiento.*

Montoya, A., (2012). *Caracterización de residuos sólidos. Cuaderno ACTIVA, ISSN 2027-8101. N° 4, de Julio-diciembre 2012, pp 67-72* Tecnológico de Antioquia, Medellín.

Naciones Unidas. (2020) *Desafíos Globales, Una población en crecimiento.* Recuperado de: <https://www.un.org/es/global-issues/population#:~:text=Se%20espera%20que%20la%20poblaci%C3%B3n,de%2011.000%20millones%20para%202100>

Ndegwa, P yThompson, S., (2001). *Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids.* PMID: 11131792 DOI: 10.1016/s0960-8524(00)00104-8

Nicora, F., (2020). *Diseño y simulación de un biodigestor alimentado con energía solar para Durvillaea Antártica.* Recuperado a partir de: <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/49588/m18637427-4.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Nghiem, L., Koch, K., Bolzonella, D., y Drewes, J., (2017). *Full scale co-digestion of wastewater sludge and food waste: Bottlenecks and possibilities.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 72, 354-362.

- Palau, E., y Virginia, C., (2016). *Digestión anaerobia de residuos de biomasa para la producción de biogás. Fundamentos*. <http://hdl.handle.net/10251/68331>
- Plan de Gestión Integral de los Residuos Sólidos PGIRS. (2015). *Informe 2. Línea Base. Municipio de Pamplona. Versión 4.13.2. Versión Final*.
- PROGNOS y Institute of Environmental Research University of Dortmund., (2008). *Resource savings and CO2 reduction potentials in waste management in Europe and the possible contribution to the CO2 reduction target in 2020*. <https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/183-resource-savings-and-co2-reduction-potentials-waste-management-europe-and-possible-contribution-co2-reduction-target-2020>
- Ramos, E., y Zñiga, D., (2008). Soil microbial activity in response to different conditions of moisture, temperature or pH. *Ecología Aplicada*, 7(1,2), 2008. ISSN 1726-2216. Depósito legal 2002-5474 © Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú. <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v7n1-2/a15v7n1-2.pdf>
- Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico -RAS. (2012). C. y. Ministerio de Vivienda, Título F, Sistemas de Aseo Urbano.
- Reyes, E., (2019). *Generación de biogás, mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos, en la zona rural de Estelí, en el período 2016-2018*. <https://repositorio.unan.edu.ni/12306/1/5892.pdf>
- Rivas, C., (2018). *Piensa un minuto antes de actuar: gestión integral de residuos sólidos*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. Recuperado de: <https://www.mincit.gov.co/getattachment/c957c5b4-4f22-4a75-be4d-73e7b64e4736/17-10-2018-Uso-Eficiente-de-Recursos-Agua-y-Energi.aspx>

- Roben, E., (2002). *Manual de Compostaje para Municipios*. Tomado a partir de:
<http://www.resol.com.br/Cartilha7/ManualCompostajeparaMunicipios.pdf>
- Román, P., Martínez, M., y Pantoja, A. (2013). Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Recuperado de:
<http://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf>
- Sánchez, J., (2019). *Aprovechamiento energético y material mediante digestión anaerobia de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos que se generan en el barrio Moravia - Medellín*. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/14222>
- Segura, A., Rojas, L., y Pulido, Y. (2020) *Referentes mundiales en sistemas de Gestión de Residuos Sólidos*. Vol. 41 (Nº 17) Año 2020. Pág. 22.
<https://www.revistaespacios.com/a20v41n17/20411722.html#uno>
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2020). *Informe nacional de disposición final de residuos sólidos 2019*. Edición No. 12. diciembre de 2020. Bogotá D.C. Tomado de:
https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2021/Mar/informe_df_2019_final_22-12-2020.pdf
- Varnero, M., Santibañez, Q., y Espinosa, T., (1987). *Efecto de la humedad y la temperatura en la descomposición de la materia orgánica del suelo en condiciones de laboratorio*. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/34213>
- Waste Framework Directive. (2008). *Directive 2008/98/ec of the european parliament and of the council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives*. OJ L 312 22.11.2008, p. 3. Tomado de: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02008L0098-20180705>.

Zhao, R., Sun, L., Zou, X., Fujii, M., Dong, L., Dou, Y., y Wang, F. (2021). *Towards a Zero Waste city-an analysis from the perspective of energy recovery and landfill reduction in Beijing.* Energy, 223, 120055.<https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120055>

Zi Jun Y., Mohammed, J.K., y Bashir, M., (2021). *Biogas and biofertilizer production from organic fraction municipal solid waste for sustainable circular economy and environmental protection in Malaysia.* Science of The Total Environment, Volume 776,145961.<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145961>.