

**DISEÑO DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS  
ORGANICOS A TRAVES DE LOMBRICOMPOST EN LA EMPRESA CARIBABARE  
E.S.P DEL MUNICIPIO DE TAME – ARAUCA.**

**DANIELA PRECIADO MARTINEZ**

**JUNIO 2022**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA.  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA.  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**DISEÑO DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS  
ORGANICOS A TRAVES DE LOMBRICOMPOST EN LA EMPRESA CARIBABARE  
E.S.P DEL MUNICIPIO DE TAME – ARAUCA.**

**DANIELA PRECIADO MARTINEZ**

**DIRIGIDO POR: PHD. FIDEL ANTONIO CARVAJAL SUAREZ**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA.  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA.  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
PAMPLONA**

**2022**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

JURADO

---

JURADO

Pamplona junio de 2022

*A mis padres... mi motivación,  
seguridad y fortaleza.*

*Daniela Preciado Martínez*

## **Agradecimientos**

Al concluir esta maravillosa etapa de mi vida quiero extender mis más sinceros agradecimientos, primeramente, a Dios por darme la fortaleza y sabiduría para superar los obstáculos que se me presentan a lo largo de mi vida.

A mi padre Alberto Preciado y a mi madre Dora Martínez por la crianza que me han dado, por acompañarme en todo momento y por la oportunidad de superarme, siendo ellos el motivo por el cual he luchado por ser cada día mejor en todos los aspectos, por creer en mí, en mis sueños y en mis capacidades, por sus consejos. Seguidamente les agradezco a mis hermanas y familia por el apoyo brindado. También le agradezco a mi novio José Borda quien me ha acompañado, apoyado y ayudado en mi proceso de formación.

De igual manera agradezco a cada maestro que hizo parte de mi formación profesional, por brindarme sus conocimientos, a mi director de trabajo el PhD. Fidel Antonio Carvajal por su paciencia y dedicación en el desarrollo de este proyecto; a mis compañeros y grandes amigos, por su apoyo y experiencias compartidas a lo largo de mi carrera que han sido de gran ayuda en mi formación personal y profesional.

A la empresa CARIBABARE E.S.P por abrirme un espacio en sus instalaciones, por darme la oportunidad de ejercer este trabajo de manera de demostrar mis capacidades y ser una escuela para mí; le agradezco en especial a las ingenierías ambientales Andrea Roxana Sepúlveda y Erika Vega por su disposición y apoyo a cualquier inquietud.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	11
INTRODUCCIÓN .....	12
Planteamiento del Problema y Justificación .....	14
Planteamiento.....	14
Justificación .....	15
Objetivos .....	16
Objetivo general.....	16
Objetivos específicos .....	16
Marcos de Referencia .....	16
Marco Teórico.....	16
Marco Conceptual.....	18
Marco Legal .....	23
Marco Contextual.....	27
Metodología .....	33
Esquema Metodológico .....	33
<i>Etapa 1. Caracterización de residuos sólidos.</i> .....	34
<i>Etapa 2. Prueba piloto de lombricompost</i> .....	45
<i>Etapa 3. Planteamiento diseño de aprovechamiento</i> .....	45
<i>Etapa 4. Elaboración del manual de funcionamiento</i> .....	48
Resultados .....	48
Caracterización de residuos solidos .....	48
Población seleccionada.....	48
Número de suscriptores .....	49
Tamaño muestral .....	50
Clasificación de suscriptores por sectores .....	51
Viviendas estudiadas .....	54
Trabajo de campo .....	54
Muestreo .....	57
Producción per cápita .....	60
Cuarteo.....	64
Densidad .....	66
Composición física de los residuos .....	69
Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.....	77
Prueba piloto de lombricompost.....	77
Cama de lombricompost.....	77

Siembra de lombrices en la cama realizada.....	78
Preparación del alimento para las lombrices .....	79
Pre compostaje de los residuos .....	80
Monitoreo de parámetros a la cama de lombricompost.....	81
Medidas preventivas contra plagas.....	82
Diseño de aprovechamiento.....	83
Principios de diseño.....	83
Diseño de procesos para el aprovechamiento.....	90
Equipos para ejecutar los procesos.....	92
Disposición de espacios.....	97
Diseño planta de aprovechamiento.....	105
Manual de funcionamiento de lombricompost .....	109
Actividades de apoyo realizadas.....	109
Conclusiones.....	113
Recomendaciones .....	115
BIBLIOGRAFÍA .....	116

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Marco Legal .....	23
Tabla 2 Número de suscriptores por año .....	50
Tabla 3 Clasificación de número de suscriptores Residenciales .....	52
Tabla 4 Clasificación de número de suscriptores Comerciales por estrato .....	52
Tabla 5 Clasificación número de suscriptores Industriales por estrato.....	52
Tabla 6 Clasificación de número de suscriptores Oficial por estrato .....	53
Tabla 7 Barrios area urbana del municipio de Tame .....	53
Tabla 8 Número de muestras por sector .....	61
Tabla 9 Producción per capita del sector residencial.....	61
Tabla 10 Producción per capita del sector comercial .....	61
Tabla 11 Producción per capita del sector oficial.....	62
Tabla 12 Producción per capita del sector industrial .....	62
Tabla 13 Producción per capita del sector oficial.....	62
Tabla 14 Diferencia de PPC en el año 2015 y 2022 .....	64
Tabla 15 Volumen residuos solidos.....	66
Tabla 16 Densidad de los residuos solidos .....	68
Tabla 17 Porcentaje por tipo de residuo en el sector residencial .....	71
Tabla 18 Porcentaje por tipo de residuo en el sector comercial .....	72
Tabla 19 Porcentaje por tipo de residuo en el sector oficial.....	73
Tabla 20 Porcentaje por tipo de residuo en el sector industrial .....	74
Tabla 21 Porcentaje de residuos general del municipio.....	75
Tabla 22 Nivel de complejidad.....	86
Tabla 23 Variables proyección de población.....	87
Tabla 24 Proyección de población.....	87
Tabla 25 Proyección de la PPC.....	88
Tabla 26 Proyección de residuos solidos .....	89
Tabla 27 Proyección de residuos solidos del municipio.....	90
Tabla 28 Características físicas del triturador.....	96
Tabla 29 Características físicas tamizadora .....	97
Tabla 30 Espacio para lechos material orgánico.....	99

## LISTADO DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1 Inducción a personal.....	55
Fotografía 2 Invitación y explicación de la actividad a realizar .....	56
Fotografía 3 Realización de encuesta .....	57
Fotografía 4 Identificación de las viviendas .....	57
Fotografía 5 Entrega de bolsas en las viviendas .....	58
Fotografía 6 Recolección de las bolsas en cada una de las viviendas. ....	59
Fotografía 7 Pesada de muestras.....	60
Fotografía 8 Muestra con el código respectivo.....	60
Fotografía 9 Cuarteo .....	65
Fotografía 10 Determinación peso recipiente y muestra .....	67
Fotografía 11 Selección de residuos .....	69
Fotografía 12 Separación por tipo de residuo .....	70
Fotografía 13 Selección de la muestra .....	77
Fotografía 14 Empacado de muestra.....	77
Fotografía 15 Proceso de adecuación de cama lombricompost .....	78
Fotografía 16 Siembra de lombrices .....	79
Fotografía 17 Selección y picado de alimento.....	80
Fotografía 18 Medición de pH y temperatura.....	81
Fotografía 19 Prueba de puño.....	82
Fotografía 20 Tapa de polisombra .....	83
Fotografía 21 Hangar relleno sanitario .....	92
Fotografía 22 Retrocargador .....	93
Fotografía 23 Residuos aptos para triturado .....	94
Fotografía 24 Trituración manual .....	94
Fotografía 25 Capacitación batallón Rafael Navas Pardo .....	110
Fotografía 26 Capacitación Colegio Froilan Farias .....	110
Fotografía 27 Capacitación a ICBF "Asofamy" .....	111
Fotografía 28 Capacitación.....	111
Fotografía 29 Certificación de asistencia.....	112

## **LISTADO DE FIGURAS**

Figura 1 Ubicación del Municipio de Tame en el Departamento de Arauca.....	28
Figura 2 Ubicación CARIBABARE E.S.P .....	29
Figura 3 Ubicación zona de estudio. Relleno Sanitario .....	30
Figura 4 División Política Municipio de Tame.....	31
Figura 5 Diseño metodológico.....	34
Figura 6 Modelo stiker de identificación .....	39
Figura 7 Metodo de cuarteo .....	42
Figura 8 Tamaño de muestra con el número de suscriptores.....	51
Figura 9 Viviendas seleccionadas .....	54
Figura 10 PPC por sector del municipio de Tame .....	63
Figura 11 Caracterización de residuos solidos.....	66
Figura 12 Proceso de aprovechamiento de residuos organicos .....	91
Figura 13 Balance masa de organicos.....	104
Figura 14 Area de planta de aprovechamiento .....	106
Figura 15 Camas de lombricompostaje.....	106
Figura 16 Area de producción.....	107
Figura 17 Vistas laterales.....	108

## **LISTADOS DE GRÁFICAS**

Gráfica 1 Composición de residuos del sector residencial .....	71
Gráfica 2 Composición de residuos del sector comercial.....	72
Gráfica 3 Composición de residuos del sector oficial .....	74
Gráfica 4 Composición de residuos del sector industrial.....	75
Gráfica 5 Composición de residuos generados en el area urbana del municipio.....	76

## RESUMEN

El aprovechamiento de residuos orgánicos representa múltiples beneficios, además que se disminuye la problemática que viven los habitantes del Municipio de Tame, que en últimas son las personas más afectadas con el mal manejo de los residuos orgánicos. El presente documento refleja el planteamiento del diseño del sistema de aprovechamiento de residuos orgánicos a través de lombricompost en la empresa CARIBABARE E.S.P. del municipio de Tame – Arauca, con la finalidad de mitigar impactos ambientales permitiendo el mejoramiento del medio ambiente y la calidad de vida.

El diseño del sistema de aprovechamiento de residuos orgánicos mediante lombricompost se llevó a cabo siguiendo la metódica dispuesta por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), la cual propone los elementos básicos que debe contener el diseño de aprovechamiento, lo cual permitió generar una metodología, que consta de cuatro etapas, en la primera etapa se realizó una caracterización de residuos sólidos, a fin de conocer la cantidad de residuos que genera el municipio de Tame; en la segunda etapa se inicia con una prueba piloto de lombricompost a propósito de monitorear los parámetros de funcionamiento del proceso de lombricompost; en la tercera etapa se diseñaron las áreas adecuadas para el desarrollo de cada una de las etapas del proceso de la generación de lombricompost y finalmente en la cuarta etapa; se elaboró el manual de funcionamiento del sistema de aprovechamiento por medio de lombricompost en el municipio de Tame – Arauca, también se apoyó en diferentes actividades direccionadas por la oficina de Aseo GOAS de la empresa CARIBABARE E.S.P.

## INTRODUCCIÓN

En la sociedad actual las actividades realizadas diariamente producen un sin número de impactos negativos para el medio ambiente que a su vez están generando consecuencias de alto nivel a la misma comunidad. En este momento la humanidad en su travesía por una etapa de crecimiento y desarrollo tecnológico e industrial ha hecho del consumismo una práctica adictiva y contaminante ambiental, que ha logrado incrementar en un 100% la producción de residuos sólidos municipales, siendo este asunto fuente de una problemática ambiental mundial de bastante interés.

Contemplando este escenario, cada día más organizaciones asumen el compromiso de implementar prácticas que conlleven a una gestión ambiental óptima, permitiendo impulsar el desarrollo sostenible dentro de las entidades, mediante la identificación de los aspectos e impactos generados en sus procesos a fin de establecer los parámetros y estrategias de mejoramiento de las condiciones ambientales institucionales.

La empresa CARIBABARE en el cumplimiento con el compromiso con el ambiente decide diseñar el plan de aprovechamiento de residuos orgánicos a través de lombricompost ya que esto representa múltiples beneficios como mitigar los impactos ambientales permitiendo el mejoramiento del medio ambiente y la calidad de vida, así disminuyendo esta problemática que viven los habitantes del municipio de Tame, que en últimas son las personas más afectadas con el mal manejo de los residuos orgánicos.

El presente documento plasma de manera estructurada el diseño de aprovechamiento de residuos sólidos a través de lombricompost organizado de la siguiente manera; inicialmente, se encuentra el planteamiento del problema y justificación el cual representa la base para la el diseño del plan de aprovechamiento, seguidamente se encuentran los marcos de referencia,

donde se describe el contenido del marco conceptual, marco legal, que se utilizaron como indicadores para el desarrollo del presente documento y finalmente se muestran los resultados obtenidos pertenecientes al análisis de los datos recopilados, generando documentos como el informe de caracterización de residuos sólidos en el área urbana del municipio y el manual de funcionamiento de aprovechamiento de residuos orgánicos a través de lombricompost ayudan a cumplir con las licencias ambientales de la empresa, reduciendo el impacto generado al ambiente, derivados de la falta de aprovechamiento.

## **Planteamiento del Problema y Justificación**

### **Planteamiento**

Según caracterizaciones de residuos sólidos urbanos en Colombia, retomados por el RAS - 1981, la proporción de orgánicos sobre los residuos sólidos urbanos alcanza el 55% de la producción per cápita (ppc). La disposición indiscriminada de éstos residuos en rellenos sanitarios se traduce en pérdida de nutrientes y contaminación ambiental. Ésta, por las características fisicoquímicas de los residuos sólidos urbanos orgánicos y los procesos de descomposición que le son propios, se corresponde con la generación de gases y lixiviados con altas cargas contaminantes, creando la necesidad de sistemas de tratamiento costosos y complejos, necesarios para realizar la remoción de contaminantes que exige la normatividad, de tal manera que se evite un mayor deterioro de los recursos agua, aire y suelo. (Gladys Jaramillo Henao, 2008)

La Superintendencia de Servicios Públicos y Domiciliarios (Superservicios) estima que entre 60% y 70% de los residuos sólidos del país se pueden aprovechar de esta manera. Además, esta práctica es útil para los hogares, pues se estima que 40% de la basura diaria que genera es materia orgánica. (Blanco, 2018).

Las raíces de esta problemática ambiental del Departamento en su mayoría están asociadas a la falta de importancia del sector ambiental y de la gestión integral de los residuos sólidos en nuestro departamento y municipios, traducida en la formulación de proyectos de impacto ambiental mediante la articulación interinstitucional y la apropiación de recursos económicos significativos para su inversión. (Arauca, 2015)

## **Justificación**

El lombricompost es un proceso similar al compostaje donde en adición a las bacterias y otros microorganismos, el sistema digestivo de la lombriz juega un papel importante, transformando los residuos orgánicos en abonos de excelente calidad debido a los microorganismos benéficos que le aporta al suelo. (Román, 2013). Esto trae diferentes beneficios que se presenta como una alternativa viable para el manejo ecológico de sistemas agropecuarios, pues permite reciclar residuos orgánicos, que generalmente se disponen inadecuadamente y producen problemas ambientales, como también se disminuye la contaminación ambiental, al reducir el uso de fertilizantes químicos en los cultivos, mantener la fertilidad natural de los suelos.

Por esto se hace importante implementar este método de aprovechamiento en los residuos orgánicos que son generados en el municipio de Tame – Arauca los cuales no se les está dando un manejo adecuado lo que genera contaminación, exceso de residuos, entre otros. Con esto proporcionara a la empresa CARIBABARE E.S.P una técnica biológica para el aprovechamiento de los residuos orgánicos generados por el municipio. Suministrando como producto final un abono o fertilizante orgánico que ayuda como biorregulador y corrector del suelo cuya característica fundamental es la bioestabilidad, pues no da lugar a fermentación o descomposición.

Por lo anterior se desea conocer ¿Cuáles son las características de residuos orgánicos generados en el municipio de Tame – Arauca?, y ¿qué parámetros de funcionamiento del proceso de lombricompost bajo las condiciones ambientales del municipio? y ¿cuáles áreas adecuadas para el desarrollo de cada una de las etapas del proceso de la generación de lombricompost?

## Objetivos

### Objetivo general

Diseñar el Sistema de Aprovechamiento de Residuos Orgánicos a través de Lombricompost en la Empresa Caribabare E.S.P. del municipio de Tame – Arauca.

### Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico de caracterización de residuos orgánicos generados en el municipio de Tame – Arauca.
- Establecer una pila piloto de lombricompost en la planta de relleno SMIRS a fin de monitorear parámetros de funcionamiento en las diferentes etapas del proceso, que sirvan de insumos base para el diseño del sistema de aprovechamiento.
- Plantear el diseño del sistema de aprovechamiento de los residuos orgánicos a través de lombricompost en el municipio de Tame.
- Elaboración del manual de funcionamiento del sistema de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos por medio de lombricompost en el municipio de Tame – Arauca.
- Apoyo en diferentes actividades direccionadas por la oficina de Aseo de la empresa Caribabare E.S.P.

## Marcos de Referencia

### Marco Teórico

**Compostaje.** Es un proceso de transformación de la materia orgánica para obtener compost, un abono natural. Esta transformación se lleva a cabo en cualquier casa mediante un compostador, sin ningún tipo de mecanismo, ningún motor ni ningún gasto de mantenimiento.

La basura diaria que se genera en los hogares contiene un 40% de materia orgánica, que puede ser reciclada y retornada a la tierra en forma de humus para las plantas y cultivos. De cada 100kg de basura orgánica se obtienen 30 kg de compost. De esta manera se contribuye a la reducción de las basuras que se llevan a los vertederos o a las plantas de valorización. Al mismo tiempo se consigue reducir el consumo de abonos químicos.

Por otro lado, cabe también destacar que con el compostaje doméstico se emiten 5 veces menos gases de efecto invernadero que el compostaje industrial para tratar la misma cantidad de restos de cocina y jardín. (Compostaje, 2022)

**Residuos Orgánicos.** Los residuos orgánicos, son biodegradables, se componen naturalmente y tiene la propiedad de poder desintegrarse o degradarse rápidamente, transformándose en otra materia orgánica. Los residuos orgánicos se componen de restos de comida y restos vegetales de origen domiciliario.

Los residuos orgánicos tienen un fuerte impacto sobre el medioambiente, contaminando la atmósfera, el suelo y las aguas (superficiales y subterráneas), debido principalmente a sus altos contenidos en materia orgánica y elementos minerales, y a la presencia de metales pesados, fitotoxinas, patógenos vegetales y animales, etc., altamente contaminantes. (Organicos, s.f.)

**Lombricompost.** Es una biotecnología que se apoya en seres vivos para transformar materia orgánica. Además es una técnica con un proceso limpio, de bajo costo y no ocupa mucho espacio para su aplicación. (Lombricompostaje, 2022)

**Sistemas de Compostaje.** En la naturaleza se pueden distinguir dos grandes sistemas de compostaje para el tratamiento de un mismo tipo de residuo: los sistemas abiertos (en pilas al

aire) y los sistemas cerrados (en fermentadores), en función de si las condiciones en las que se lleva a cabo el proceso de compostaje son aerobias o anaerobias.

**\*Sistemas abiertos.** En ellos, tiene lugar una reacción microbiológica de mineralización junto a una reacción parcial de humidificación de la fracción orgánica en unos períodos de tiempo mínimos (3 meses), que son difíciles de acortar (3-4 semanas), ya que los procesos están sometidos a los ciclos biológicos de los microorganismos que intervienen.

Dentro de éstos conviene distinguir tres tipos diferentes: apilamiento estático, apilamiento con volteo y, por último, apilamiento con volteo y aireación forzada por ventilación.

**\*Sistemas cerrados.** Con ellos, se pretende la obtención de un producto final (compost) que sea útil como fertilizante, para lo cual no se permite que este proceso de compostaje transcurra de forma espontánea, sino que han de controlarse todos aquellos parámetros que sean necesarios para garantizar un bajo coste, y la mayor brevedad posible del proceso ( $\leq 2$  semanas). Para lograrlo se debe actuar directamente sobre el crecimiento y metabolismo de los microorganismos que intervienen en el proceso de compostaje. En función del tipo de reactor empleado para tal fin se pueden distinguir entre reactores verticales (continuos o discontinuos) y horizontales (estáticos o con rotación). (Infoagro, 2016)

## **Marco Conceptual**

**El Ambiente.** El concepto de ambiente ha estado asociado casi siempre de manera exclusiva a los sistemas naturales, a la protección y a la conservación de los ecosistemas, vistos como las relaciones únicas entre los factores bióticos y abióticos, sin que medie un análisis o una reflexión sobre la incidencia de los aspectos socioculturales, políticos y económicos en la dinámica de dichos sistemas naturales (MADS, 2021)

Al mismo tiempo, los problemas ambientales han sido comúnmente puestos en evidencia, por medio de desequilibrios naturales que se presentan a la opinión pública como catástrofes. De esta manera, la responsabilidad de la gestión ambiental se ha delegado en las personas que de una u otra forma, tienen que ver solamente con el manejo de los fenómenos naturales. No ha surgido un análisis crítico de las causas a los problemas resultado de las interacciones sociales con el espacio donde se desarrollan los diversos ecosistemas, también, las estrategias adaptativas que para el manejo de los recursos desarrollan los grupos humanos, los aspectos económicos y políticos que tienen que ver con el desarrollo de estos grupos y la sociedad en la que se desenvuelven (MADS, uco.edu.co, 2021)

Igualmente, una aproximación a un concepto mucho más global de ambiente podría ser la de un sistema dinámico definido por las interacciones físicas, biológicas, sociales y culturales, percibidas o no, entre los seres humanos y los demás seres vivos y todos los elementos del medio donde se desenvuelven, sean estos elementos de carácter natural, o bien transformados o creados por el hombre (MADS, uco.edu.co, 2021)

Finalmente, el concepto, abarca entonces, nociones que relevan tanto las ciencias físicas y naturales, como las ciencias humanas y sociales. Esto es justamente lo que enriquece el concepto, aunque a la vez, lo hace complejo y dificulta su aprehensión. De allí que no se pueda reducir el estudio de lo ambiental a espacios formales o no formales, o a la simple actividad sin contexto y sin proceso, pues ello puede conducir a la desinformación, a la atomización y a la ausencia de profundidad en el análisis. Esta última es fundamental para la comprensión y para la toma de decisiones responsables.

**Residuos Orgánicos.** Se refiere a todo aquel material que proviene de especies de flora o fauna y es susceptible de descomposición por microorganismos, o bien consiste en restos, sobras o productos de desecho de cualquier organismo.

Son aquellos que provienen de organismos vivos como plantas y animales, quienes contienen compuestos orgánicos producidos por la naturaleza y que se descomponen biológicamente por la acción de microorganismos o agentes fisicoquímicos a condiciones normales, por ejemplo:

- Desechos de legumbres. Frutas.
- Textiles naturales.
- Residuos de comida.
- Residuos de jardín
- Papel y cartón (Ochoa, 2000)

**Residuo Sólido.** Un material que ya ha hecho su trabajo o cumplido su misión, se desecha en forma de residuo. Por lo tanto, un residuo se convierte en algo inservible y sin valor económico para la mayoría de la gente. Estos residuos pueden eliminarse, destinándose a vertederos o a su enterramiento, o reciclarse para usarse nuevamente. (Sanchez, 2020)

**Biodegradable.** Los artículos desechables denominados biodegradables tienen como objetivo disminuir el impacto ambiental mediante una degradación más rápida, que les permita reincorporarse a la naturaleza en menor tiempo que los materiales convencionales. Se entiende por biodegradación la descomposición aeróbica ó anaeróbica de un material por acción enzimática de microorganismos tales como bacterias, hongos y algas bajo condiciones normales

del medio ambiente. Los materiales de nueva generación que componen a los artículos etiquetados como biodegradables están elaborados en su mayoría por derivados del papel o bien por biopolímeros, los cuales provienen de cuatro grandes fuentes: 1) animal (colágeno/gelatina), 2) marina (quitina/quitosán), 3) agrícola (lípidos y grasas e hidrocoloides incluyendo proteínas y polisacáridos) y 4) microbiana (ácido poliláctico - PLA, y polihidroxialcanoatos, PHA) (Ruiz, Pastor, & Adriana, 2012)

**Almacenamiento.** “la actividad de depósito que permite mantener cercanos los productos, componentes y materias primas de los mercados y de los centros de producción y transformación, para poder así garantizar su normal funcionamiento”. (Marin, 2018)

**Compostaje.** Es el proceso mediante el cual la materia orgánica que se desecha (residuos de alimentos, hojas, etc.) puede ser reaprovechada por un proceso de descomposición aerobio (con presencia de aire), que permite generar un abono orgánico rico en nutrientes, que a su vez puede ser utilizado en agricultura, jardinería u otros usos relacionados a la tierra. El producto, generado a partir de los residuos sólidos orgánicos, puede ser aprovechado en zonas rurales, para el enriquecimiento de suelos y cultivos.

Los residuos orgánicos pueden ser aprovechados como alimento para animales (procesos térmicos industriales), generación de biogás (usando biodigestores) y compostaje mayormente. (Gomez, 2011)

**Compost.** El compost es un abono orgánico, obtenido a partir de la descomposición controlada de la materia orgánica. Es un producto estable, de olor agradable y con multitud de propiedades beneficiosas para los suelos y plantas que se consigue tras la biodegradación en presencia de oxígeno de los residuos orgánicos, tales como restos de jardín y residuos de cocina.

El compost garantiza a las plantas una reserva de sustancias nutritivas, favorece la absorción y retención de agua, facilita la circulación del aire y limita los cambios bruscos tanto de temperatura como de humedad. (Mezo, 2015)

**Disposición Final.** Es el proceso de aislar y confinar los residuos peligrosos, en especial los no aprovechables, en lugares especialmente seleccionados, diseñados y debidamente autorizados, para evitar la contaminación y los daños o riesgos a la salud humana y al ambiente. (Montaña, 2011)

**Lixiviados.** Cualquier actividad antropogénica conlleva la generación de residuos sólidos -“basura”-, los cuales si no son reincorporados a los procesos productivos, generalmente terminan en lugares conocidos como sitios de disposición final. Estos sitios pueden clasificarse de la siguiente manera; relleno sanitario, vertidos a cuerpos de agua y vertidos en el terreno. Obviamente que estas dos últimas no constituyen los mejores métodos para disponer la basura, sin embargo y desafortunadamente, son los más socorridos tanto en el territorio nacional como estatal, principalmente el relacionado con el vertido en el terreno mejor conocido como “tiradero a cielo abierto” (Aguilar, 2019)

**Generador.** Cualquier persona cuya actividad produzca residuos o desechos peligrosos. Si la persona es desconocida será la persona que está en posesión de estos residuos, el fabricante o importador de un producto o sustancia química con propiedad peligrosa, para los efectos del presente decreto, se equipará a un generador en cuanto a la responsabilidad por el manejo de los embalajes y residuos del producto o sustancia. (IDEAM, Participación Ciudadana, 2022)

**Lombricultura.** “La crianza y manejo de lombrices de tierra en condiciones de cautiverio”; con la finalidad básica de obtener con ella dos productos de mucha importancia para

el hombre: el lombricompost como fertilizante de uso agrícola y la proteína (carne fresca o harina), como suplemento para raciones de animales. (INCAP, 2022)

**Recuperadores.** Aquellas personas que recolectan los residuos y los incluyen en el proceso de reciclaje. Igualmente, nos permite entender la labor que se realiza de manera puntual, más como un servicio que se presta de recuperación, que un proceso de transformación mayor, como lo es el reciclaje y que es realizado en cadena pero, principalmente, por la gran industria. (Molano, 2015)

### Marco Legal

A continuación, se relaciona la normatividad aplicable a la temática de gestión de los residuos sólidos en Colombia. (Ver Tabla 1).

*Tabla 1*

#### *Marco Legal*

<b>Tipo de norma</b>	<b>Número</b>	<b>Año</b>	<b>Descripción</b>
<b>Política Nacional para la gestión integral de residuos sólidos.</b>		1997	Elaborada por el Ministerio del Medio Ambiente. Contiene el diagnóstico de la situación de los residuos, los principios específicos (Gestión integrada de residuos sólidos, análisis del ciclo del producto, gestión diferenciada de residuos aprovechables y basuras, responsabilidad, planificación y gradualidad), los objetivos y metas, las estrategias y el plan de acción. Plantea como principio la reducción en el origen, aprovechamiento y valorización, el tratamiento y transformación y la

Tipo de norma	Número	Año	Descripción
			<p>disposición final controlada, cuyo objetivo fundamental es "impedir o minimizar" de la manera más eficiente, los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente que ocasionan los residuos sólidos y peligrosos, y en especial minimizar la cantidad o la peligrosidad de los que llegan a los sitios de disposición final, contribuyendo a la protección ambiental eficaz y al crecimiento económico.</p>
<p><b>Ley</b></p>	<p>99</p>	<p>1993</p>	<p>Elaborada por el 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. Una de las funciones del Ministerio es regular las condiciones generales para el saneamiento del medio ambiente, y el uso, manejo, aprovechamiento, conservación, restauración y recuperación de los recursos naturales, a fin de impedir, reprimir, eliminar o mitigar el impacto de actividades contaminantes, deterior antes</p>

<b>Tipo de norma</b>	<b>Número</b>	<b>Año</b>	<b>Descripción</b>
			o destructivas del entorno o del patrimonio natural.
<b>Ley</b>	142	1994	Elaborada por Congreso de la República de Colombia. Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios donde se incluye el servicio público de aseo y se dictan otras disposiciones
<b>Decreto</b>	605	1996	<p>En el artículo 5, consagra como uno de los fines de la educación, la adquisición de una conciencia para la conservación, protección y mejoramiento del medio ambiente, de la calidad de vida, del uso racional de los recursos naturales, de la prevención de desastres, dentro de una cultura ecológica y del riesgo y la defensa del patrimonio cultural de la Nación. En el artículo 23, incluye las ciencias naturales y la educación ambiental como área obligatoria y fundamental.</p> <p>En esta misma ley se estructura del servicio público educativo para formar al educando en la protección, preservación y aprovechamiento de las condiciones humanas y del ambiente.</p>
<b>Ley</b>	388	1997	Artículo 111. Programas y Proyectos PARÁGRAFO. El Ministerio

<b>Tipo de norma</b>	<b>Número</b>	<b>Año</b>	<b>Descripción</b>
			de Educación Nacional en coordinación con el Ministerio de Desarrollo Económico, incorporará dentro del proyecto “Ciudad Educadora” y demás proyectos de currículo escolar, los contenidos de la formación para el uso y disfrute de los espacios públicos urbanos, y demás contenido en la presente ley, en armonía con los principios de respeto y tolerancia acorde con su naturaleza colectiva.
<b>Resolución</b>	1096	2000	Expedida por el Ministerio de Desarrollo Económico, por el cual se adopta el Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico- RAS.
<b>Resolución</b>	201	2001	Expedida por la comisión de regulación de agua potable y saneamiento básico. Por la cual se establecen las condiciones para la elaboración, actualización y evaluación de los planes de gestión y resultados.
<b>Decreto</b>	005	2003	Elaborado por el Municipio de Medellín. Por medio del cual se establecen medidas de cultura ciudadana y de manejo ambiental para prevenir y evitar estados de emergencia sanitaria en

<b>Tipo de norma</b>	<b>Número</b>	<b>Año</b>	<b>Descripción</b>
			la ciudad, obligando a los domicilios de Medellín a separar las basuras en recipientes que contengan diferencialmente los materiales orgánicos de los inorgánicos, a partir de enero 15 del 2003 y dentro de los próximos 70 días.
<b>Resolución</b>	1045	2003	Elaborada por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Por la cual se adopta la metodología para la elaboración de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, y se toman otras determinaciones.

### **Marco Contextual**

Según (Tame A. d., 2020) Municipio de Tame tiene una extensión de 6457 Km<sup>2</sup> y se localiza en el extremo suroccidental del Departamento, donde confluyen dos ejes viales principales; la ruta de los libertadores (Bogotá- Tuna- Tame -Arauca -Caracas) y la troncal del llano (Bogotá-Villavicencio-Yopal-Tame-Saravena).

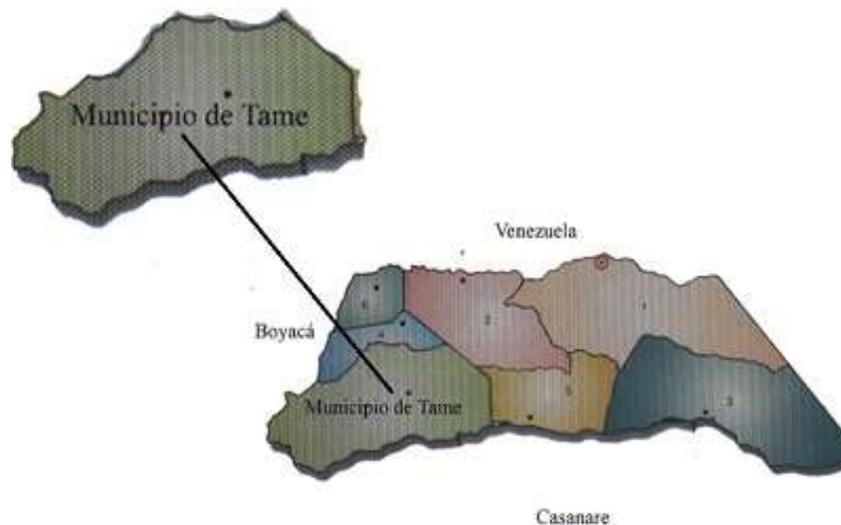
Además, es el punto de distribución del tráfico terrestre hacia Puerto Rondón, Cravo Norte y Fortúl. Esta localización da al municipio de Tame, ventajas comparativas en el contexto departamental.

Límites del municipio: Se encuentra localizado en la parte suroccidental del departamento de Arauca, al norte con el municipio de Fortul, al oriente con Arauquita y Puerto Rondón, al sur con el departamento del Casanare, y al occidente con el departamento de Boyacá (ver Figura 1)

Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): Alturas fluctúan entre los 300 y 1000 msnm y su temperatura media: 28° C

*Figura 1*

*Ubicación del Municipio de Tame en el Departamento de Arauca.*



*Fuente: (Tame A. d., 2020)*

CARIBABARE E.S.P.: El 05 de junio de 1996 se transforma la empresa Municipal de Servicios Públicos en Empresa Industrial y Comercial del estado “Caribabare de Tame E.S.P” la cual se legalizo y entro a operar como tal en enero de 1997 administrando los tres servicios, acueducto, alcantarillado y aseo.

Su misión: es una Empresa Industrial y Comercial del Estado del orden regional, orientada hacia la eficiente prestación de los servicios públicos domiciliarios de Acueducto,

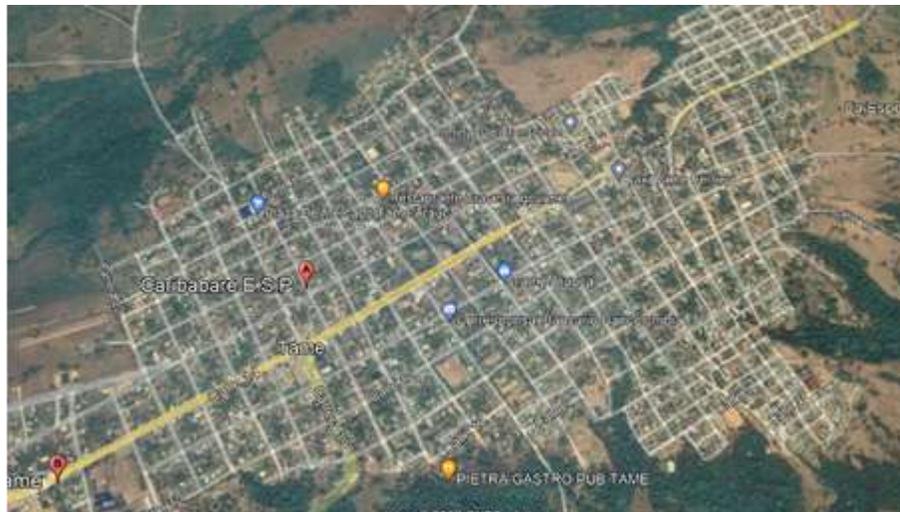
Alcantarillado y Aseo, en condiciones de calidad, rentabilidad y sostenibilidad ambiental, guiada por un equipo humano idóneo, que propende por la satisfacción permanente del usuario.

(Caribabare, 2022)

La empresa Caribabare E.S.P. tiene como domicilio principal de su actividad la dirección, Cra 18 N. 15-38 en la ciudad de Tame, Arauca.

*Figura 2*

*Ubicación CARIBABARE E.S.P*



*Fuente: (Earth, 2021)*

**Figura 3**

**Ubicación zona de estudio. Relleno Sanitario**



*Fuente: (Earth, 2021)*

### **Climatología**

“El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2016), afirma que las tierras poseen diferentes pisos térmicos que se distribuyen entre los climas cálido, templado y frío; y que van desde el frío de la sierra nevada del Cocuy hasta el clima tropical de las sabanas que se extienden después de que concluyen los montes de la cordillera; la humedad relativa promedio anual es de 81% y la temperatura promedio anual es de 25,9°C, siendo marzo el mes de mayor temperatura y julio el de menor.” (Tapias, 2017)

### **Población**

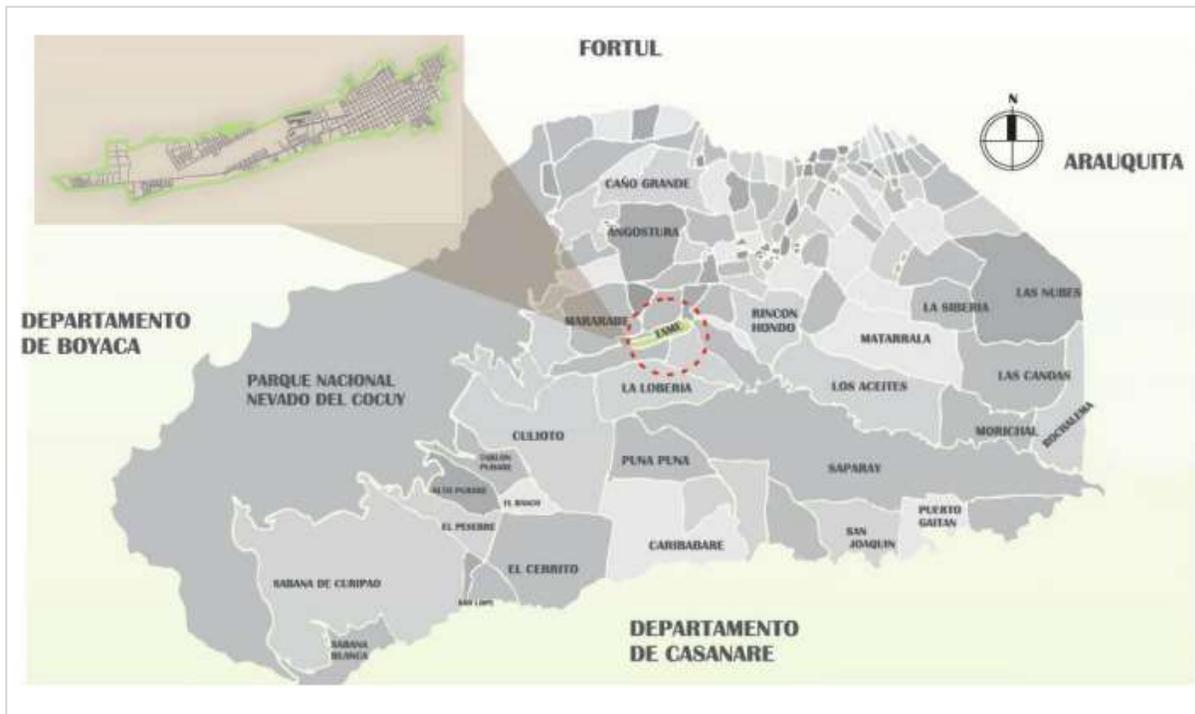
“En la llanura del Orinoquia donde el municipio de Tame hace parte, fue ocupado inicialmente por los pueblos indígenas Giraras, Achaguas, Ariscos, Chirridos, Guahibos, Tunebos, Mapoyes y Betoyes, los cuales eran nómadas, cazadores y recolectores a excepción de los Tunebos o actuales U’wa; vivían distribuidos por todo el municipio hasta que llegaron los

colonizadores y fueron evangelizados por los misioneros quienes crearon cuatro misiones que dieron origen a Tame.” (Suarez & Zárata, 2016)

Para el municipio de Tame Arauca, según la proyección del DANE para el año 2020 fue de 55028 habitantes. “La división territorial, comprende casco urbano o cabecera Municipal está dividido por 50 barrios aproximadamente, teniendo en cuenta las urbanizaciones y cooperativas de viviendas consolidadas y por consolidar, y el sector rural que compone una totalidad de 126 veredas” (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Tame es considerada “La Cuna e la Libertad”; hace parte de los municipios que conforman el Parque Nacional Natural El Cocuy y cuenta con diferentes atractivos turísticos sin duda es uno de los sitios más apetecidos por los visitantes y locales.

*Figura 4*

*División Política Municipio de Tame*



Fuente: Suarez & Zárata, 2016, pág. 25

### **Hidrografía.**

“El sistema hídrico municipal forma parte de la micro cuenca del río Orinoco, ya que su territorio está irrigado por la cuenca del río Casanare el cual le es tributario. A su vez las subcuencas que enriquecen al Casanare son las de los ríos Tocoragua, Lopeño, Purare, Tame-San Ignacio, Cravo, más el Ele-Cusay.” (PBOT, 2008)

### **Geomorfología.**

“Dentro del municipio de Tame se observan tres macrounidades geomorfológicas bien definidas: Cordillera, piedemonte y llanura. El principal criterio de clasificación de las unidades geomorfológicas fue la génesis de las diversas geoformas cartográficas a nivel regional.” (Universidad de los Llanos – Gobernación de Arauca., 2019)

### **Biodiversidad.**

**Flora.** Está directamente relacionada con las características del suelo, ubicación altitudinal y las condiciones climáticas locales, especialmente la disponibilidad de agua. “El CIDER clasificó el bosque presente en el municipio en tres grupos: Productor, Protector y de Reforestación. En las macrounidades de cordillera y piedemonte encontramos vegetación apenas en el páramo (Bosque Nublado Andino), con cobertura vegetal dominada por gramíneas y algunos arbustos pequeños y frondosos. Hay siete especies de fraylejones (Ezpeletinae) y pequeños parches de árboles enanos (Cuatrecasas, 1986). En la unidad Homogénea de Ladera se encuentran reductos de Selva Húmeda Montañosa y selva húmeda submontana.” (PBOT, 2008)

**Fauna.** “La fauna más importante del flanco de la cordillera son los mamíferos representados en roedores (conejos, ratones, murciélagos y marsupiales), algunos osos y monos. Con respecto a

las aves, se calculan unas 650 especies, representativas de ellas el chupaflor, el cubiro, el sangre de toro, el tucán, la paraulata, la mirla, la oropéndola, el toche, el turpial, el azulejo, el alcaraván, el güerere, el gavián, el zarnícalo, el carraco, etc. Igualmente son muy representativas rapaces como el águila real y los gavilanes. La fauna asociada a las macrounidades de piedemonte y cordillera, se relaciona con la diversidad de hábitats y microhábitats. En especial, en los corredores biogeográficos (matas de monte y esteros), se encuentran roedores cavimorfos (guaguas, ñeques y lapas), algunos lagartos (caimán, babilla, lobito); los animales propios de la sabana son armadillos, venados y chigüiros. El recurso ictiológico es amplio y variado por la cantidad de ríos, caños y esteros presentes en el municipio. Se reconocen especies como guabina, barbilla, toruno, mojarra, mije, cachama y payara. Se han calculado 420 especies de peces.” (PBOT, 2008)

## **Metodología**

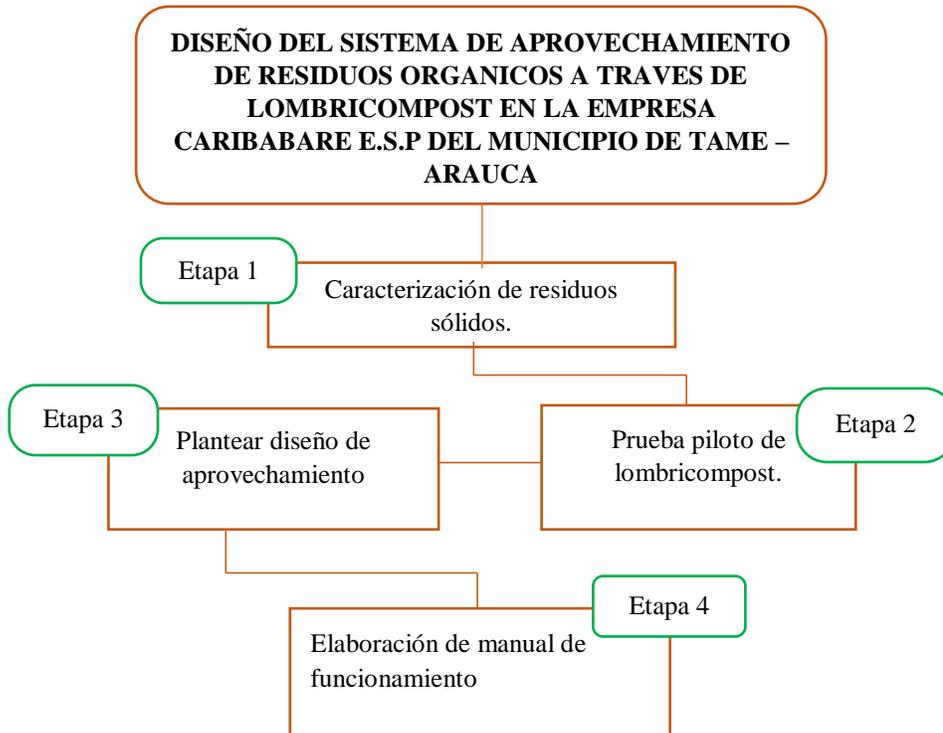
### **Esquema Metodológico**

La metódica adoptada se llevó a cabo dentro del reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000, Título F Sistema de Aseo Urbano. La Metodología para la caracterización de los residuos sólidos usada está basada en el Método Sencillo Del Análisis De Residuos Sólidos. CEPIS/OPS (Kunitoshi, 2000)

A continuación, se presenta el esquema que evidencia el proceso metodológico planteado para cumplir con los objetivos trazados.

Figura 5

Diseño metodológico



Fuente: Propia

### ***Etapa 1. Caracterización de residuos sólidos.***

**Actividad 1:** Aforar la generación de residuos orgánicos en el área urbana del municipio de Tame – Arauca, determinar el volumen y peso.

### **Diseño metodológico para selección de muestra.**

#### **Calculo de la población**

Se deseaba conocer la tasa intercensal el municipio de Tame – Arauca. Se tuvieron en cuenta datos de dos censos realizados por parte de CARIBABARE E.S.P. uno realizado en el año 2010

en el cual se determinó una cantidad de usuarios de 5,929 y otro en el año 2022 con una cantidad de usuarios de 10,592.

Para obtener los datos de población final se debió primero conocer la tasa de crecimiento intercensal la cual se halló con la siguiente formula:

$$r = \left( \sqrt[n]{\frac{P_2}{P_1}} - 1 \right) \cdot 100$$

*Formula 1*

Donde:

r = Tasa de crecimiento intercensal

n = Diferencia del número de años de la población estudiada.

P1 = Población del penúltimo censo o dato oficial.

P2 = Población del último censo o dato oficial.

### **Calculo de suscriptores**

Para el cálculo de la población actual se tuvo que aplicar la siguiente formula:

$$P_F = P_i \cdot (1 + r)^n$$

*Fórmula 2*

Donde:

PF = Población final

Pi = Población inicial

r = Tasa de crecimiento intercensal

n = Diferencia del número de años de la población estudiada.

### **Tamaño muestral**

Los siguientes cálculos se realizaron teniendo en cuenta las indicaciones del numeral F1.4.2.7

Número de muestras, del (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento

Básico: TÍTULO F Sistemas de Aseo Urbano, 2012).

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

### *Fórmula 3*

Donde:

n = Tamaño de la muestra

Z = Nivel de confianza deseado

p = Proporción de la población con la característica deseada (éxito)

q = Proporción de la población con la característica deseada (fracaso)

e = Nivel de error dispuesto a cometer

N= Tamaño de la población

## **Clasificación de suscriptores por sectores**

El procedimiento para la distribución de muestras se realizó mediante un muestreo aleatorio simple en la hoja de cálculo Excel con el apoyo documental (Catastro de Usuarios) suministrado por la empresa CARIBABARE E.S.P.

## **Selección de viviendas a estudiar**

Para esta distribución se tuvieron en cuenta los suscriptores del servicio de Aseo del municipio de Tame – Arauca por parte de la empresa CARIBABARE E.S.P.

La población o universo de referencia está constituida por todos los usuarios del municipio de Tame – Arauca. Para este estudio las unidades de muestreo son las viviendas, se entiende que son los suscriptores al servicio de Aseo del municipio de Tame. Esta población se manejó teniendo en cuenta el catastro de usuarios relacionados en la base de datos de Caribabare E.S.P.

Una vez determinado el número de muestras por sectores, se tuvo que elegir las viviendas donde se tomaron las muestras, identificando los barrios con los que se trabajaron. Para este estudio se tuvo en cuenta el área urbana del municipio de Tame.

Se seleccionaron aleatoriamente las viviendas, dispersas por todo el municipio de Tame tomando referencia los barrios. Se tuvo en cuenta los siguientes criterios:

- El estrato socioeconómico predominante por sector.
- El número de viviendas a seleccionar teniendo en cuenta la distribución de la muestra.

## **Diseño metodológico para trabajo de campo**

Para realizar el trabajo de campo, se organizó un grupo conformado por tres (03) profesionales de ingeniería ambiental, personal de la empresa Caribabare ESP.

## **Inducción**

Se realizó inducción al personal de apoyo, en el que se dio a conocer el objetivo y la metodología del estudio, la cual corresponde a la información que se brindaría al usuario residencial, industrial, comercial, oficial e institucional, que fueron seleccionados aleatoriamente para el proceso de caracterización.

## **Aprestamiento**

Teniendo en cuenta la ruta de recolección preliminar, nos presentamos en las viviendas seleccionadas, donde se colocó en conocimiento el ensayo, al jefe o jefa del hogar o representantes de las viviendas o establecimientos. En esta visita se dio a conocer los objetivos, importancia y la metodología, se tuvo en cuenta que quien recibe debe ser mayor de edad.

Así mismo, se realizó la identificación del inmueble a caracterizar, mediante la instalación de stiker adhesivo plastificado, de medidas 10 cm x 10 cm, en el cual se denota información de la actividad, así como se brindó el espacio para indicar las características del inmueble, tales como, tipo de usuario y se asignó código de identificación. El código para cada vivienda y/o establecimiento, se asignó según el sector, por ejemplo: Si es residencial se le asigna código de R-1, así se realiza con los diferentes sectores.

*Figura 6*

*Modelo stiker de identificación*



*Fuente: Propia.*

## **Encuestas**

En seguida de haber puesto en conocimiento a los representantes de las viviendas o establecimientos se procedió a encuestar a un habitante o jefe de familia mediante la aplicación Epicollet, la cual nos suministra y guardo toda la información, con el fin de recabar datos cualitativos y cuantitativos.

## **Muestreo**

### **Entrega de bolsas**

Finalizada la aplicación de encuestas al total de los usuarios seleccionados, se procedió a suministrar bolsas con capacidad de 100 litros, una para cada día de caracterización, las cuales se identificaron asignando el código suministrado a cada vivienda mediante el stiker, y de esta

manera facilitar el manejo de la información en bodega de las caracterizaciones con respecto a las encuestas. Durante la entrega de bolsas al usuario, se indicó nuevamente el proceso a seguir, para evitar errores en el depósito de residuos y entrega de las bolsas suministradas.

### **Recolección de las muestras**

La recolección, aforo y caracterización de las muestras se dividió en 341 residenciales, 22 comerciales, 6 oficiales y 2 industriales.

La recolección de las bolsas se realizó diariamente, contra entrega por el personal a cargo. Es decir, la bolsa con residuos generados el día lunes, se recogió el día martes a primera hora por parte del personal de la empresa. Seguidamente fueron recolectadas y transportadas hasta el sitio de disposición final de residuos sólidos “Relleno Sanitario Brisas del Cravo”.

### **Pesada de muestras**

Depositados las muestras en un sitio estratégico del relleno sanitario, se procedió a realizar el pesaje de cada una. Se realizó el llenado del formato de recolección con el peso correspondiente de cada día, teniendo en cuenta cada sector por separado.

### **Diseño metodológico para la caracterización de las muestras.**

Se tuvo en cuenta para determinar la cantidad y composición de los residuos sólidos que produce el sector urbano del municipio de Tame – Arauca, una caracterización de residuos sólidos, utilizando el método de cuarteo para poder determinar el porcentaje de materia orgánica, papel, vidrio, plásticos, entre otras clases de residuos que generaron las viviendas residenciales y no residenciales.

Según (RAS, 2000): Puede utilizarse cualquier método técnicamente válido, ya sea recomendado por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas – ICONTEC o por estándares internacionales, para determinarla. Sea cual fuere el método escogido, éste debe considerar al menos las siguientes variables:

1. Cantidad de residuos generados por día, determinados mediante aforos.
2. Número total de habitantes en el sector de estudio.
3. Número de usuarios servidos y potenciales, incluyendo estrato y uso.
4. Número promedio de habitantes por usuario del sistema, por estrato y uso.
5. Cantidad de residuos que se transportan al sistema de disposición final, determinada mediante aforos.
6. Cantidad de residuos que se incorporan efectivamente al aprovechamiento, según su naturaleza, determinada mediante aforos.

### **Calculo de producción per cápita**

Las muestras fueron llevadas al relleno sanitario, donde fueron dejadas en el hangar, se procedió a separar las bolsas (muestras) por sectores con su respectivo estrato socioeconómico, comprobando que se encontraran en buen estado.

Luego se procedió a pesar cada bolsa para saber el peso diario de cada vivienda, seguido se procedió a calcular la producción per cápita de cada vivienda residencial o no residencial. La producción per cápita se obtuvo con la siguiente formula.

### Fórmula para determinar producción per cápita:

$$Ppc = \frac{Kg}{Hab * día}$$

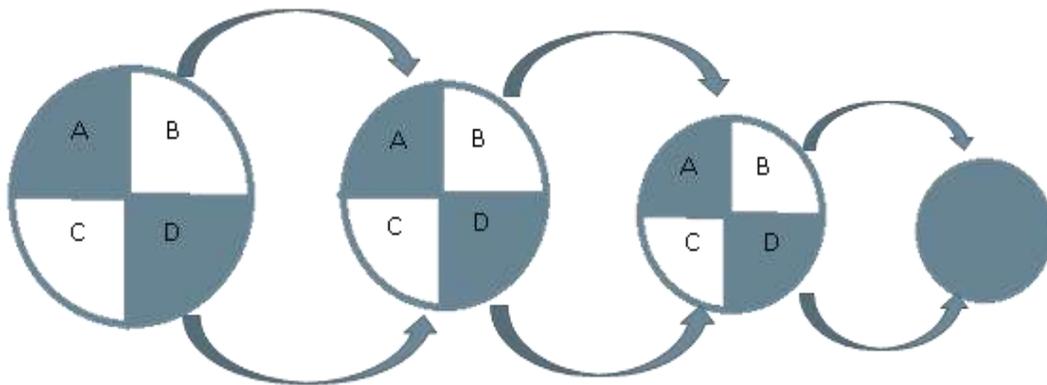
#### Fórmula 4

### Cuarteo

- Se colocara un plástico sobre un área plana, limpia y horizontal, la cual se denominará: superficie de muestreo.
- Se toman las bolsas de las muestras y se esparce sobre el plástico para evitar la contaminación de las muestras con el suelo original.
- Se procede a realizar el método de cuarteo como se muestra en la figura 2.

Figura 7

Método de cuarteo



Fuente: Propia

Con este método se pretende llegar a una muestra mucho más pequeña las cuales pueden ser utilizadas para los diferentes estudios en laboratorio, estas muestras pequeñas se introducen en

bolsas de polietileno, se marcan adecuadamente para tener un orden de muestras en el laboratorio.

### **Calculo de densidad**

Para determinar la densidad de los residuos, se seleccionó un recipiente plástico de volumen conocido, al cual se le determinó su peso vacío, tomando este peso como la tara del recipiente. Seguidamente realizó el llenado del recipiente hasta el tope con residuos sólidos homogenizados, obtenidos de las partes eliminadas del primer cuarteo, y evitando realizar presión de los residuos al colocarlos en el recipiente; esto con el fin de no alterar la densidad aparente que se pretende determinar.

La densidad se calculó con la siguiente ecuación:

$$D = \frac{(w_2 - w_1)}{V} = \frac{(w)}{V}$$

*Fórmula 5*

Donde:

$D$  = Densidad, en kg/m<sup>3</sup>

$w_1$  = Peso bruto del recipiente vacío en kg

$w_2$  = Peso bruto del recipiente con los residuos en kg

$V$  = Volumen ocupado del recipiente en m<sup>3</sup>

$w$  = Peso bruto de los residuos

## **Cálculo de la composición física de los residuos**

Para la determinación de los residuos sólidos se realizó una separación por tipo de residuo después de realizar el cuarteo, se procedió a pesar en el recipiente con el fin de sacar la densidad, restando el valor del balde para obtener el peso de cada uno de los residuos.

## **Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos**

Los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y fitotóxicos permiten conocer propiedades de los residuos para su potencial uso como productos agrícolas o como potenciales combustibles derivados de residuos por su poder calorífico. (Gonzalez, 2019)

De acuerdo con lo anterior, se analizan y comparan con respecto a dos normas, la norma NTC 5167 y los parámetros designados en la RAS. La NTC 5167 no permitirá el uso de los residuos sólidos urbanos si no están separando en la fuente, ya que se minimizan los riesgos de contaminación por metales pesados y microorganismos patógenos. Por lo tanto, se recomienda que estos análisis se hagan una vez a fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos se haya separado del resto. (Gonzalez, 2019)

Después de realizar el cuarteo se saca una muestra pequeña la cual es llevada al laboratorio, el cual nos suministra los datos obtenidos de esta muestra.

Dentro del pliego de contratación los análisis fisicoquímicos a realizar son:

**Análisis Fisicoquímicos:** Contenido de humedad, Permeabilidad de residuos compactados.

**Metales pesados:** Cr, Cd, Pb, Ni, Hg.

## ***Etapa 2. Prueba piloto de lombricompost***

***Actividad 2. Preparación del lecho (primera cama):*** La estructura inicial donde van a estar las lombrices.

Para el establecimiento de la cama se adecuo un lugar ya existente en el relleno sanitario donde se disponía de una base la cual sería la cama, teniendo como medidas (Alto: 0,45 m Ancho: 1 m y Largo 10m), se procedió a realizar la estructura del techado y encierro a la cama dispuesta para el proceso de lombricompost, con el fin de proteger la misma de los fenómenos climáticos que puedan presentarse durante las distintas épocas del año.

***Actividad 3: Preparación del alimento para las lombrices:*** Se emplearon diferentes tipos de residuos, dependiendo la disponibilidad de materiales en la planta de relleno.

El alimento que se suministro fue seleccionado de los residuos orgánicos que llegan al relleno sanitario en los días de recolección durante la semana, se realizó la adecuada separación, selección y picado del alimento necesario requerido. Para la adecuada selección del alimento se suministró la información secundaria encontrada sobre procesos de lombricompost.

***Actividad 4: Pre compostaje de los residuos:*** En un contenedor aparte se dispone a descomponer la mezcla.

Ya los residuos separados y debidamente picados en trozos pequeños, fueron colocados por 5 días en pre-compostaje, con el fin de bajar el pH al alimento.

## ***Etapa 3. Planteamiento diseño de aprovechamiento***

***Actividad 5:*** Dimensionar los espacios adecuados para cada etapa del proceso con sus respectivos planos de diseño y materiales a utilizar.

Para el diseño de procesos y la disposición de espacios de la planta de aprovechamiento para el municipio de Tame – Arauca se tuvo como guía el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-2012, Título F Sistema de Aseo Urbano el cual establece aspectos de manera general para este sistema, mas explícitamente en el capítulo F.5 Aprovechamiento.

Este reglamento establece un conjunto de pasos para definir las características de la planta de aprovechamiento.

- Localización de la planta
- Diseño de edificaciones
- Definición de procesos de aprovechamiento a establecer en la planta

Conociendo la falta de datos históricos respecto a la población, para realizar la proyección de la población solo se usó el método geométrico ya que el municipio ha venido en creciente expansión en los aspectos poblacionales y económicos.

- **Proyección método geométrico (MG):** Empleado principalmente para poblaciones con importante actividad económica, que genere un apreciable desarrollo y que poseen importantes áreas de expansión las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades. (RAS, 2012) La ecuación que se emplea es:

$$Pf = P_{uc}(1 + r)^{Tf - T_{uc}}$$

*Formula 6*

Donde:

r= Tasa de crecimiento anual en forma decimal.

Pf = Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

Puc= Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).

Pci= Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).

Tuc= Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.

Tf = Año al cual se quiere proyectar la información.

La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:

$$r = \left( \frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{(T_{uc}-T_{ci})}} - 1$$

*Formula 7*

- Procesos para el aprovechamiento
- Determinación de espacio para el proceso

Para el diseño de procesos se tuvo en cuenta la población proyectada y la generación diaria proyectada, de esta manera se conoce la cantidad de residuos sólidos a aprovechar:

- El 60% de residuos orgánicos serán aprovechados, ya que no todo el material que llega tiene buen estado. De esta manera se obtienen medidas para abarcar cada tipo de residuos.

#### ***Etapa 4. Elaboración del manual de funcionamiento***

**Actividad 6:** Elaborar un manual de instrucciones de operación de la planta de aprovechamiento de residuos orgánicos del municipio de Tame – Arauca.

#### ***Etapa 5. Apoyo en diferentes actividades direccionadas por la empresa.***

**Actividad 7:** Asistir a cada una de las actividades ambientales programadas por la empresa de Aseo tales como: capacitaciones, talleres, campañas entre otros.

### **Resultados**

#### **Caracterización de residuos solidos**

##### **Selección de la muestra**

##### **Población seleccionada**

Considerando los censos suministrados por la empresa CARIBABARE del número de suscriptores en dos años los cuales son en el año 2010 un total de suscriptores 5,929 y en el 2022 a la fecha de febrero con un total de 10,592 suscriptores.

$$r = \left( \sqrt[n]{\frac{P_2}{P_1}} - 1 \right) \cdot 100$$

r = ?

n = (2010 – 2022) = 12

P1 = 5,929

P2 = 10,592

$$r = \left( \frac{\sqrt[12]{10,592}}{5,929} - 1 \right) * 100$$

$$r = \left( \sqrt[12]{1,7864} - 1 \right) * 100$$

$$r = (1,0495 - 1) * 100$$

$$r = 0,0495 * 100$$

$$r = 4,95 \%$$

Con esto se pudo obtener un crecimiento de tasa intercensal de 4,95%.

### **Número de suscriptores**

Para conocer el número de suscriptores al 2034 del municipio de Tame, se cuenta con los datos del censo del año actual 2022 por lo que se tiene la siguiente información.

$$P_i = 10,592$$

$$r = 4,95\% = 0,0495$$

$$n = 12$$

Utilizando la ecuación 1.

$$P_f = 10,592 * (1 + 0,0495)^{12}$$

$$P_f = 10,592 * (1,0495)^{12}$$

$$P_f = 10,592 * 1,7856$$

$$P_f = 18,9132$$

El número de suscriptores para el año 2034 será de 18,9132.

Tabla 2

Número de suscriptores por año

AÑO	CALCULO	POBLACIÓN
2023	$Pf = 10,592 * (1 + 0,0495)^1$	11,1163
2024	$Pf = 10,592 * (1 + 0,0495)^2$	11,6666
2025	$Pf = 10,592 * (1 + 0,0495)^3$	12,2441
2026	$Pf = 10,592 * (1 + 0,0495)^4$	12,8501
2027	$Pf = 10,592 * (1 + 0,0495)^5$	13,4862
2028	$Pf = 10,592 * (1 + 0,0495)^6$	14,1538
2029	$Pf = 10,592 * (1 + 0,0495)^7$	14,8544
2030	$Pf = 10,592 * (1 + 0,0495)^8$	15,5897
2031	$Pf = 10,592 * (1 + 0,0495)^9$	16,3614
2032	$Pf = 10,592 * (1 + 0,0495)^{10}$	17,1713
2033	$Pf = 10,592 * (1 + 0,0495)^{11}$	18,0212
2034	$Pf = 10,592 * (1 + 0,0495)^{12}$	18,9133

Fuente: Propia

### Tamaño muestral

Para calcular el tamaño de la muestra (n) se utilizó un error, máximo permisible del 5%, un nivel de confianza del 95% y una probabilidad de éxito del 95% y de fracaso del 5%. (Ecuación estadística para proporciones poblacionales).

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

Fórmula 3

*Figura 8*

*Tamaño de muestra con el número de suscriptores*

### Calculadora de Muestras

Margen de error:

Nivel de confianza:

Tamaño de Población:

**Margen: 5%**  
**Nivel de confianza: 95%**  
**Poblacion: 10592**

**Tamaño de muestra: 371**

N = Tamaño de la población (10,592 viviendas)

P = Probabilidad de producir desechos en el periodo de 2 semanas = 0,95

q = Probabilidad de no producir desechos en el periodo de 2 semanas = 0,05

e = Error permisible

Z = Nivel de confianza = 1,96

Con los cálculos realizados anteriormente se cuenta con un tamaño de muestra total de 371 usuarios para el periodo de recolección de los residuos generados en cada una de las viviendas.

### **Clasificación de suscriptores por sectores**

Teniendo en cuenta los datos obtenidos en el muestreo aleatorio simple se pudo obtener el tamaño de la muestra de viviendas particulares para cada estrato socioeconómico y sector. En la tabla 4, 5, 6 y 7 se observa la distribución de las viviendas por sector.

**Tabla 3**

*Clasificación de número de suscriptores Residenciales*

<b>ESTRATOS</b>	<b>SUSCRIPTORES ASEO</b>	<b>TOTAL, MUESTRA POR ESTRATOS</b>
<b>RESIDENCIAL BAJO BAJO</b>	4,825	194
<b>RESIDENCIAL BAJO</b>	3,593	102
<b>RESIDENCIAL MEDIO BAJO</b>	1,418	45
<b>TOTAL</b>	<b>9,836</b>	<b>341</b>

*Fuente: Propia*

**Tabla 4**

*Clasificación de número de suscriptores Comerciales por estrato*

<b>ESTRATOS</b>	<b>SUSCRIPTORES ASEO</b>	<b>TOTAL, MUESTRA POR ESTRATOS</b>
<b>Comercial GP AFORADO</b>	3	1
<b>Comercial PEQ. PRD. R2</b>	66	8
<b>Comercial PEQ. PRD. R1</b>	605	12
<b>Comercial PEQ. PRD. R3</b>	12	1
<b>TOTAL</b>	<b>686</b>	<b>22</b>

*Fuente: Propia*

**Tabla 5**

*Clasificación número de suscriptores Industriales por estrato*

<b>ESTRATOS</b>	<b>SUSCRIPTORES ASEO</b>	<b>TOTAL, MUESTRA POR ESTRATOS</b>
<b>Industrial PEQ. PRD. R2</b>	1	1
<b>Industrial PEQ. PRD. R1</b>	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

*Fuente: Propia*

**Tabla 6**

*Clasificación de número de suscriptores Oficial por estrato*

<b>ESTRATOS</b>	<b>SUSCRIPTORES ASEO</b>	<b>TOTAL, MUESTRA POR ESTRATOS</b>
<b>Oficial BATA AFD</b>	1	1
<b>Oficial AFORADO</b>	17	1
<b>Oficial PEQ. PRD. EN.</b>	1	1
<b>Oficial PEQ. PRD. R1</b>	45	2
<b>Oficial PEQ. PRD. R2</b>	4	1
<b>TOTAL</b>	<b>68</b>	<b>6</b>

*Fuente: Propia*

Se cuenta con un número total de suscriptores en el municipio de Tame de 10,592.

**Tabla 7**

*Barrios area urbana del municipio de Tame*

<b>BARRIOS</b>			
Urb. San Diego	Villa del Rosario	Espinoza de las Palmas	El centro
Portal del llano	Cootramacl	Trompillo	Porvenir
Amigoscoop	Marquelandia	Panorama	Mariscal Sucre
Campiña II	Villa del Prado	URB. Villa Gabriela	Santander
Horizonte	Villa Galán	El Vergel	Balcón del Llano
Coovicrista	Brisas de Satena	Urb. Los Morichales	Buena Vista
Coodec	Simón Bolívar	San Miguel	Primero de Mayo
Campiña I	URB. Villa Zuamy	El Cielo	San Antonio
Los Cristales	Villa del Maestro	El Morichal	Cristo Rey
Villa Paola	La libertad	Boyacá	La Unión
Villa del Sol	Las Araucarias	San Luis	Unión Juvenil Araucana
Los Caracaros	Getsemani	Las Ferias	Villa Adela
Villa Caro	Coovital	20 de Julio	Santafe
Ciudad Jardín	Zaman	Kennedy	

*Fuente: Propia*

## Viviendas estudiadas

Después de conocer el número de muestras a estudiar, se procedió a realizar el muestreo aleatorio simple con el catastro de usuarios de la empresa, el cual nos arroja una distribución por todo el municipio brindado la información como: dirección, estrato e información general del jefe inmediato del hogar o establecimiento.

*Figura 9*

*Viviendas seleccionadas*



*Fuente: Propia*

## Trabajo de campo

### Inducción

Se asignó a cada operario las viviendas a visitar acorde a la distribución establecida por sectores donde se realizaría el aprestamiento con los usuarios, sticker para la identificación de las viviendas, además se les brindo la ubicación de las viviendas como herramienta necesaria para la ejecución de sus actividades en campo.

Estas direcciones se dividieron por el número de operarios teniendo toda una muestra por igual a realizar.

### *Fotografía 1*

#### *Induccion a personal*



*Fuente: Propia.*

### **Aprestamiento**

Se realizó el aprestamiento a las 341 viviendas residenciales, 22 comercial, 6 oficial y 2 industrial donde los usuarios entendieron el ejercicio a realizar y tuvieron la disposición para ejecutar este estudio, se comprometieron a recolectar los residuos acordes a lo informado por parte de los profesionales encargados.

## *Fotografía 2*

### *Invitación y explicación de la actividad a realizar*



*Fuente: Propia*

## **Encuestas**

Terminada la invitación se realizó la encuesta arrojándonos datos sobre la percepción del sistema de manejo, número de personas que habitan el inmueble, datos socioeconómicos y percepción del sistema de gestión de RSU, ya que estos datos socioeconómicos son de importancia para el procesamiento de la información. Estos datos fueron de gran uso ya que nos arrojó el uso que le daban a sus residuos de cada vivienda, como el número de personas que vivían en el inmueble que nos sirvió para saber la producción per cápita de cada vivienda. **Ver Anexo A.**

Después de realizar la encuesta se le colocó un sticker a la vivienda para identificarla con su respectivo código para facilitar el manejo de la información y poder codificar las bolsas teniendo en cuenta el código de cada sticker.

### **Fotografía 3**

#### **Realización de encuesta**



*Fuente: Propia*

### **Fotografía 4**

#### **Identificación de las viviendas**



*Fuente: Propia*

## **Muestreo**

### **Entrega de bolsas**

Cada operario contaba con el número de bolsas correspondiente por el número de viviendas, se entregaron a cada vivienda un paquete de 5 bolsas las cuales iban marcadas de lunes a viernes, se les informo a cada representante que se debían utilizar cada bolsa para el día correspondiente teniendo en cuenta que iniciaban desde el momento que se les entrego, como también que pasábamos todos los días recogiendo cada bolsa, esta entrega se realizó a partir de las 6:30 am.

### *Fotografía 5*

#### *Entrega de bolsas en las viviendas*



*Fuente: Propia*

### **Recolección de las muestras**

Se realizó la recolección de las bolsas durante los cinco (5) días consecutivos, en el horario establecido. Se recolectaron 371 muestras las cuales fueron establecidas en la selección de muestras. Se inició el día martes recolectando la bolsa del día lunes esto con el fin de que los datos fueran más exactos y así sucesivamente con los siguientes días terminando el día sábado.

Se tuvo en cuenta al momento de recibir la bolsa con los residuos, que se encontraran cerradas y con su código establecido.

**Fotografía 6**

**Recolección de las bolsas en cada una de las viviendas.**



*Fuente: Propia*

**Pesada de muestras**

Llegadas las muestras al relleno sanitario fueron transportadas al hangar donde se separaron por estrato y se tomó el peso de cada una para los 5 días que duro el muestreo en las viviendas muestreadas

**Fotografía 7**

***Pesada de muestras.***



*Fuente: Propia*

**Fotografía 8**

***Muestra con el código respectivo***



*Fuente: Propia*

**Caracterización de las muestras**

**Producción per cápita**

Para el cálculo de la producción per cápita en el sector urbano del municipio de Tame se verificaron los datos de las encuestas, como el número de habitantes por vivienda, teniendo en cuenta que se realizó la toma de muestras por cinco días consecutivos.

**Tabla 8**

**Número de muestras por sector**

SECTOR	TOTAL
RESIDENCIAL	341
COMERCIAL	22
OFICIAL	6
INDSUTRIAL	2

*Fuente: Propia*

Teniendo en cuenta el estrato socioeconómico de cada sector se procedió a hallar la producción per cápita por cada sector y estrato utilizando la fórmula 4.

**Tabla 9**

**Producción per capita del sector residencial**

SECTOR RESIDENCIAL	PPC (kg/hab*día)
Estrato 1	0,31
Estrato 2	0,38
Estrato 3	0,25

*Fuente: Propia*

**Tabla 10**

**Producción per capita del sector comercial**

SECTOR COMERCIAL	PPC (kg/establecimiento*día)
PEQ.PRD. R1	0,2
PEQ. PRD. R2	0,4
PEQ.PRD. R3	0,1
GP AFORADO	0,59

*Fuente: Propia*

**Tabla 11**

**Producción per capita del sector oficial**

SECTOR OFICIAL	PPC (kg/establecimiento*día)
PEQ. PRD. R1	0,73
PEQ. PRD. R2	0,27
PEQ. PRD. EN.	0,27

*Fuente: Propia*

**Tabla 12**

**Producción per capita del sector industrial**

SECTOR INDUSTRIAL	PPC (kg/establecimiento*día)
PEQ. PRD. R1	0,0825
PEQ. PRD. R2	0,2375

*Fuente: Propia*

Con los datos obtenidos de la producción per cápita de cada sector con su estrato socioeconómico se logró hallar la ppc por cada sector como se muestra en la tabla 13.

**Tabla 13**

**Producción per capita del sector oficial**

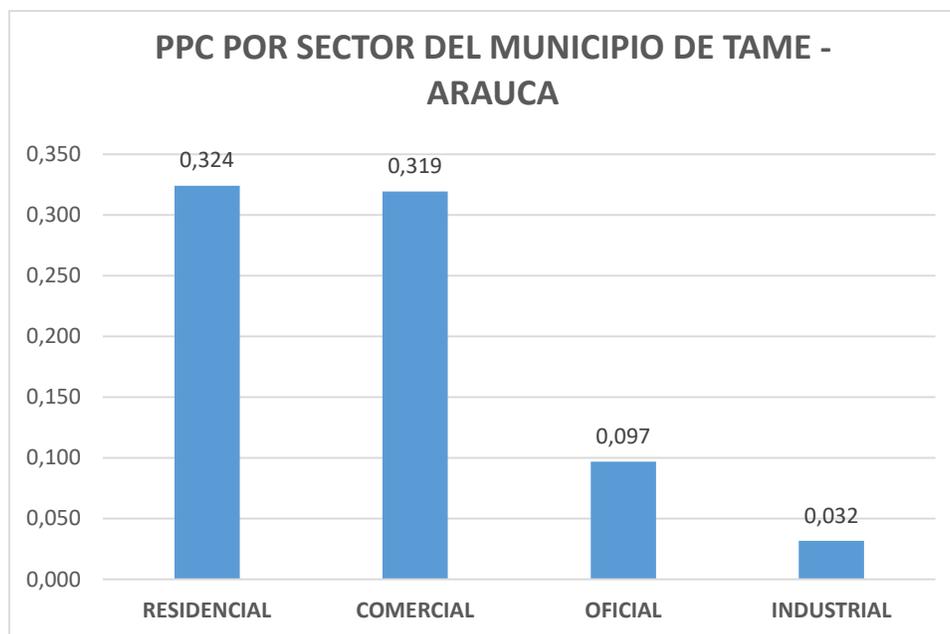
SECTOR	PPC (kg/hab*día)
RESIDENCIAL	0,324
COMERCIAL	0,319
OFICIAL	0,097
INDUSTRIAL	0,032

*Fuente: Propia*

En la siguiente se muestra la PPC por sector del municipio.

**Figura 10**

**PPC por sector del municipio de Tame**



*Fuente: Propia*

Y para hallar la PPC general del municipio de Tame Arauca se utilizó la **fórmula 6**

$$PPC = \frac{PPCr + PPCc + PPCo + PPCi}{4}$$

**Formula 6**

La producción per cápita general del municipio de Tame - Arauca es de **0,748 kg/hab\*día**

En la **tabla 14** muestra la comparación de la PPC generada del estudio anterior en el año 2015, se puede observar un gran aumento entre estos años.

**Tabla 14**

**Diferencia de PPC en el año 2015 y 2022**

<b>2015 PPC (kg/hab*día)</b>	<b>2022PPC (kg/hab*día)</b>
0,677	0,748

*Fuente: Propia*

Se debe tener en cuenta que en el anterior estudio (PGIRS) no se utilizó la misma metodología por lo cual no hubo el mismo tamaño de muestras y viviendas, se usó una metodología más sencilla para hallar la PPC, por lo tanto se puede deducir que con esta metodología obtenemos un dato más eficaz, brindando este estudio más confiabilidad y precisión ya que suministramos datos como encuestas, peso por vivienda, entre otros.

### **Cuarteo**

- Se colocó un plástico sobre un área plana, limpia y horizontal, la cual se denominó: superficie de muestreo.
- Se tomaron las bolsas de las muestras y se esparcieron sobre el plástico para evitar la contaminación de las muestras con el suelo original. Se mezclaron las muestras y se realizó una homogenización de las muestras de modo que quedaron bien mezcladas.
- Se procedió a realizar el método de cuarteo como se muestra en la **fotografía 9**.

*Fotografía 9*

*Cuarteo*



*Fuente: Propia*

- Ya las muestras mezcladas se procedieron a separar en 4 partes iguales, como se observa en la fotografía 9, se tomaron dos partes de la muestra que fueron directamente diagonales.
- Estas dos muestras que se tomaron son nuevamente mezcladas y se realizó igualmente la división en cuatro partes. Se toma nuevamente dos partes en diagonal y las dos partes sobrantes son recogidas y llevadas a disposición final.
- Con la muestra final ya más pequeña se procedió a separar por tipo de residuo y pesar para tomar la densidad.

Con este método se obtuvo una muestra mucho más pequeña la cual fue utilizada para los diferentes estudios en laboratorio.

**Figura 11**

**Caracterización de residuos sólidos**



*Fuente: Propia*

**Densidad**

Para determinar la densidad de los residuos sólidos que llegan al sitio de disposición final se ha utilizado un recipiente práctico, se destaca que la empresa no cuenta con recipientes de mayor capacidad actualmente, ver Fotografía 10, de lo cual se obtiene el volumen de los materiales. En tabla 15 se dan a conocer las características físicas del recipiente utilizado para determinar el volumen de los residuos sólidos del municipio.

**Tabla 15**

**Volumen residuos solidos**

Vol. Residuos Orgánicos		
Diámetro	30 cm	0,30 m
Altura	36 cm	0,36 m
Volumen	25400 cm <sup>3</sup>	0,0254 m <sup>3</sup>

*Fuente: Propia*

Volumen de los residuos: 0,0254 m<sup>3</sup>

Teniendo el recipiente y determinado el volumen de los residuos se comprueba el peso de estos para determinar la densidad de todos los tipos de residuos como lo son: orgánico, plástico, cartón, vidrio, sanitario, icopor, botellas pet y textiles.

**Fotografía 10**

**Determinación peso recipiente y muestra**



*Fuente: Propia*

Obtenido el peso de los residuos sólidos y el volumen de los mismos se calculó la densidad de los materiales en kg/m<sup>3</sup> de estos como característica física.

**Tabla 16**

*Densidad de los residuos solidos*

<b>TIPO DE RESIDUO</b>	<b>PESADA</b>	<b>PESO RESIDUOS (Kg)</b>	<b>PROMEDIO (kg)</b>	<b>DENSIDAD (kg/m3)</b>
Orgánico	Peso 1	4,8	4,7	185,04
	Peso 2	5		
	Peso 3	4,3		
Plástico	Peso 1	0,6	0,48	18,898
	Peso 2	0,35		
	Peso 3	0,5		
Cartón	Peso 1	0,7	0,5	19,685
	Peso 2	0,4		
	Peso 3	0,4		
Vidrio	Peso 1	3,5	2,15	84,646
	Peso 2	2,95		
	Peso 3	0		
Sanitario	Peso 1	2,95	1,7	66,929
	Peso 2	1,5		
	Peso 3	0,6		
Icopor	Peso 1	0,2	0,1	3,937
	Peso 2	0,1		
	Peso 3	0,1		
Botellas pet	Peso 1	0,45	0,43	16,929
	Peso 2	0,45		
	Peso 3	0,4		
Textiles	Peso 1	1	0,33	12,992
	Peso 2	0		

	Peso 3	0		
--	--------	---	--	--

*Fuente: Propia.*

### **Composición física de los residuos**

Para la determinación de los residuos sólidos se realizó una separación por tipo de residuo después de realizar el cuarteo, se procedió a pesar en el recipiente con el fin de sacar la densidad, restando el valor del balde para obtener el peso de cada uno de los residuos.

#### *Fotografía 11*

#### *Selección de residuos*



*Fuente: Propia*

*Fotografía 12*

*Separación por tipo de residuo*



*Fuente: Propia*

En este estudio se clasifico en los siguientes tipos de residuos:

- Orgánico
- Plástico
- Cartón
- Vidrio
- Sanitario
- Icopor
- Botellas pet
- Textiles

A continuación se presenta la composición física de los residuos por cada sector del municipio.

Tabla 17

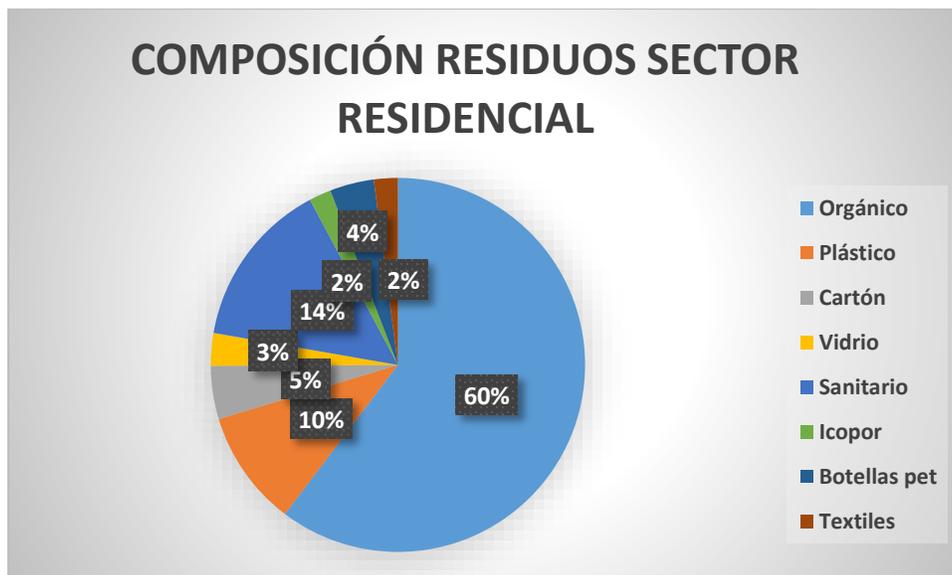
Porcentaje por tipo de residuo en el sector residencial

TIPO DE RESIDUO	COMPOSICION PORCENTUAL
Orgánico	60%
Plástico	10%
Cartón	5%
Vidrio	3%
Sanitario	14%
Icopor	2%
Botellas pet	4%
Textiles	2%

Fuente: Propia

Gráfica 1

Composición de residuos del sector residencial



Fuente: Propia

Según la gráfica anterior se pudo observar que en el sector residencial teniendo del 100% de los residuos que llegan a disposición final el tipo de residuo orgánico es el predominante con un 60%,

seguido el sanitario con un 14% y por último se evidencia que los que menos llegan a disposición final son icopor y textiles con un 2% del total de los residuos.

**Tabla 18**

**Porcentaje por tipo de residuo en el sector comercial**

TIPO DE RESIDUO	COMPOSICION PORCENTUAL
Orgánico	43%
Plástico	34%
Cartón	6%
Vidrio	6%
Sanitario	5%
Icopor	2%
Botellas pet	4%

*Fuente: Propia*

**Gráfica 2**

**Composición de residuos del sector comercial**



*Fuente: Propia*

En la gráfica anterior se puede comprobar que el residuo en la parte comercial que más se genera es el orgánico con un 43%, seguido del plástico por un poco menos del 34% se evidencio que estos dos residuos son los que más se genera debido a que en el comercio se utiliza mucho empaques, bolsas, entre otros y residuos de comida, siendo el de menor porcentaje el icopor con un 2% del 100% de la totalidad de los residuos.

**Tabla 19**

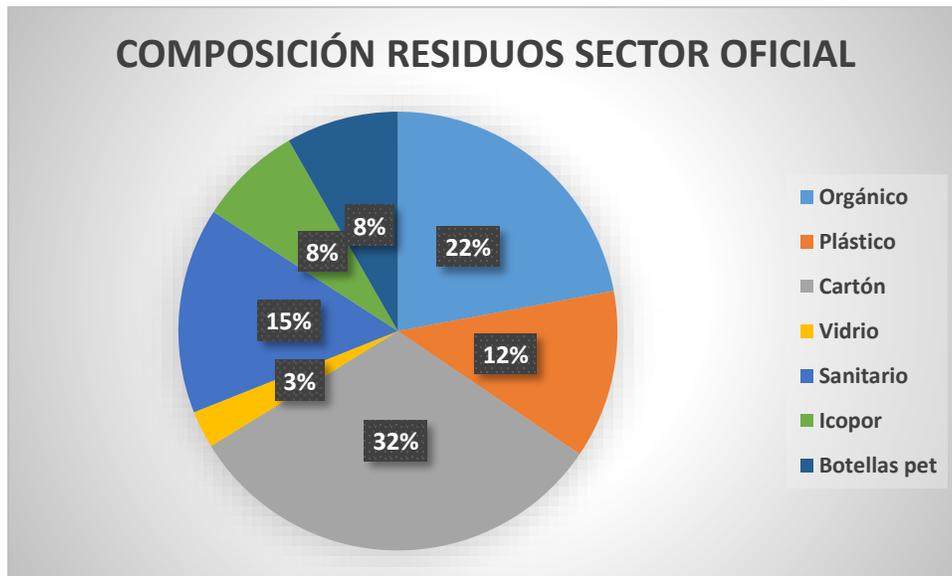
**Porcentaje por tipo de residuo en el sector oficial**

TIPO DE RESIDUO	COMPOSICION PORCENTUAL
Orgánico	22%
Plástico	12%
Cartón	32%
Vidrio	3%
Sanitario	15%
Icopor	8%
Botellas pet	8%

*Fuente: Propia*

**Gráfica 3**

**Composición de residuos del sector oficial**



*Fuente: Propia*

Como podemos observar en la gráfica anterior nos arrojó que el residuo con mayor porcentaje es el cartón con 32%, continuado de orgánico con un 22% y por último el menor presente es el vidrio con un 3%, esto se puede dar que el mayor sea cartón ya que en la parte oficial utilizan más empaquetaduras en cajas, elementos de cafetería en cartón por lo tanto es el predominante.

**Tabla 20**

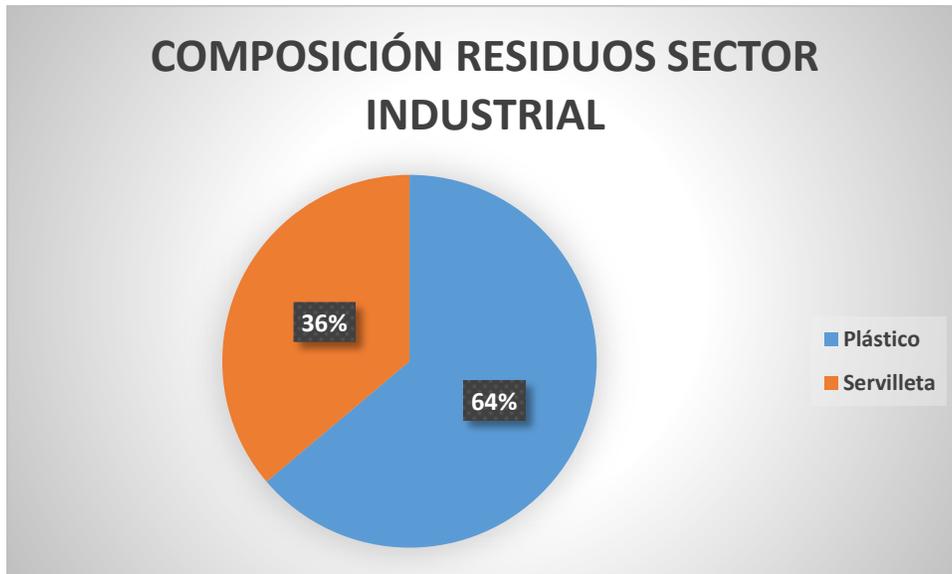
**Porcentaje por tipo de residuo en el sector industrial**

TIPO DE RESIDUO	COMPOSICION PORCENTUAL
Plástico	64%
Servilleta	36%

*Fuente: Propia*

**Gráfica 4**

**Composición de residuos del sector industrial**



*Fuente: Propia*

En el sector industrial como vemos en la gráfica solo se presentaron dos tipos de residuos siendo el superior el plástico con 64% esto es generado por el tema de envoltura que utilizan para los productos a vender en cada empresa, seguido de la servilleta con un 36% esta es con un porcentaje mayor teniendo en cuenta que en cada una de las empresas industriales tienen su sitio de lavado y desinfección tanto para la gente de afuera como para los empleados.

**Tabla 21**

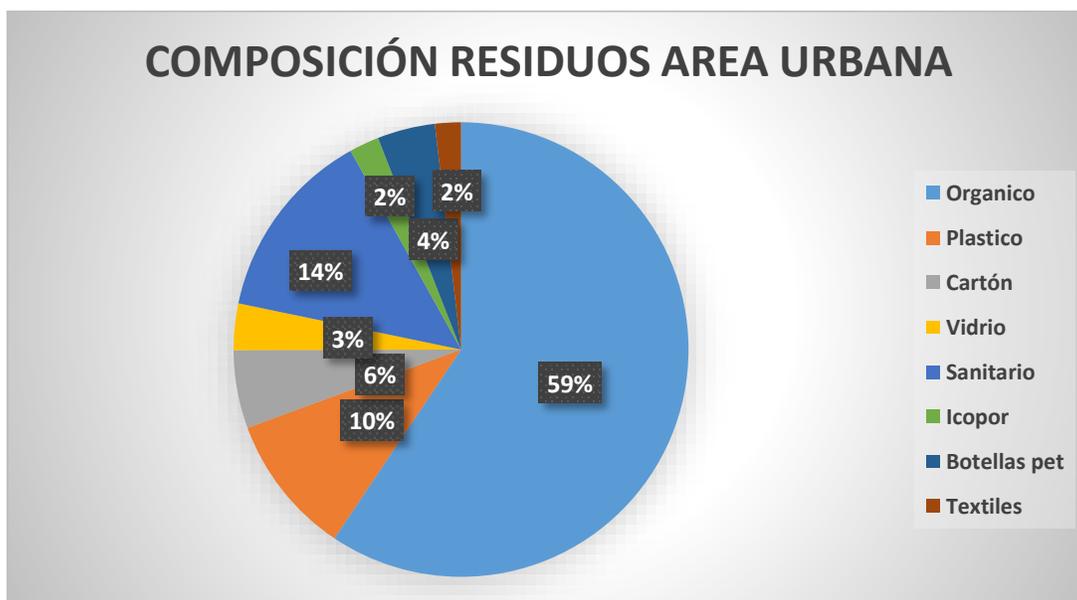
**Porcentaje de residuos general del municipio.**

TIPO DE RESIDUO	COMPOSICION PORCENTUAL
Orgánico	59%
Plástico	10%
Cartón	6%
Vidrio	3%
Sanitario	14%
Icopor	2%
Botellas pet	4%
Textiles	2%

Fuente: Propia

Gráfica 5

Composición de residuos generados en el área urbana del municipio



Fuente: Propia

En la gráfica anterior se pudo evidenciar que, en el área urbana del municipio de Tame, el residuo con mayor porcentaje es el orgánico con un 59% este siendo el más generado que llega al sitio de disposición final, seguido está el sanitario con un 14% y por último el de menor porcentaje está el icopor y textiles con un 2% del total de los residuos.

Mediante el estudio, se logró determinar la composición de los residuos generados en los diferentes sectores del municipio, siendo predominante el residuo orgánico, teniendo en cuenta que el componente de textiles solo se encontró en el sector residencial y en el sector industrial solo se encontró residuos de plástico y servilleta.

## **Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.**

La empresa CARIBABARE contrato al laboratorio Ambitest S.A.S el cual llevo la muestra a analizar para los parámetros físicos y microbiológicos, hasta el momento no hemos obtenido los resultados por parte del laboratorio estando a la espera de estos.

*Fotografía 13*

*Selección de la muestra*



*Fuente: Propia*

*Fotografía 14*

*Empacado de muestra*



*Fuente: Propia*

## **Prueba piloto de lombricompost**

### **Cama de lombricompost**

Se estableció una cama de lombricompost con techo de zinc y encerrado en polisombra (Fotografía 155), cuya área en totalidad es de 66 m<sup>2</sup> tiene una capacidad de 4,5 m<sup>3</sup> (Alto: 0,45 m Ancho: 1 m y Largo 10m). Esta estructura establecida permitirá que la cama de lombricompost este protegida de agentes externos, garantizando de esta forma que el proceso de lombricompost

se lleve a cabo sin alteraciones significativas, reduciendo presiones por animales y/o elementos climáticos.

### *Fotografía 15*

#### *Proceso de adecuación de cama lombricompost*



*Fuente: Propia*

### **Siembra de lombrices en la cama realizada**

Después de la adecuación a la cama se dispuso a colocar una capa de tierra negra en la cual se colocó el pie de cría, esparciéndolas por toda la cama. Teniendo en cuenta que se coloca un kilo por metro cuadrado y que la cama establecida tiene un área de 10 m<sup>2</sup>, se adicionaron 10 kilos de lombrices. El número promedio de lombrices por kilo es de aproximadamente de 400 a 500 individuos, se puede decir que inicialmente en la cama establecida se adicionaron de 4,000 a 5,000 lombrices.

### *Fotografía 16*

#### *Siembra de lombrices*



*Fuente: Propia*

### **Preparación del alimento para las lombrices**

El sistema integral de residuos sólidos que maneja la empresa CARIBABARE recolecta los residuos sólidos orgánicos durante la semana en diferentes rutas dentro de la zona urbana del municipio en virtud de lo anterior fueron seleccionados los días lunes y viernes para hacer la selección de los residuos adecuados para la alimentación de las lombrices. Para esto se consideró la información secundaria consultada y se determinó que alimentos como los cítricos y cebolla no son benéficos para las lombrices por su alto pH y acidez dado que estas toleran un pH aproximado de 6,5 y 7,5 por tanto los residuos seleccionados fueron:

- Cascara de plátano
- Cascara de tomate
- Cascara de papaya

- Cascara de papa
- Lechuga
- Cascara de mango
- Cascara de zanahoria

Estos residuos fueron picados en trozos pequeños para dar facilidad a la descomposición de los mismos.

*Fotografía 17*

*Selección y picado de alimento*



*Fuente: Propia*

**Pre compostaje de los residuos**

Con este proceso de pre compostaje se logra reducir el pH del alimento, dejándolo en un área por 5 días debidamente picado, esto favorecerá el comer de las lombrices

Cada 5 días fueron suministrados aproximadamente 20 kg de residuos previamente pre compostados. Acorde al crecimiento de la población de lombrices se debe cambiar la cantidad de

residuos a suministrar por lo que se estableció que después de 20 días desde el inicio se les suministros el doble de comida.

### **Monitoreo de parámetros a la cama de lombricompost**

Para analizar la temperatura y pH de lombricompost se tomaron 100 gr de tierra, a la cual se le agrego 200 ml de agua destilada se agito y se dejó reposar por 3 horas. Pasadas las 3 horas se calibro el equipo antes de usar y se realizó la medición de pH. Esta medición se realizó 1 vez a la semana observando que los parámetros cumplieran con los valores establecidos.

A demás se realizó la medición de humedad mediante la prueba de puño con el fin de observar si se encontraba, muy seca, muy húmedo o con humedad estable. Según los resultados se evaluaba la necesidad de realizar un riego a la cama.

#### *Fotografía 18*

#### *Medición de pH y temperatura*



*Fuente: Propia*

*Fotografía 19*

*Prueba de puño*



*Fuente: Propia*

**Medidas preventivas contra plagas**

Dentro de las plagas que pueden atacar a las lombrices pueden estar roedores, hormigas, planarias y babosas. Estas pueden competir por la comida o llegar a matarlas.

Con la finalidad de darle control al ingreso de plagas dentro de la cama, se rego alrededor de esta un bulto de insecticidas como Lorsban y un bulto de Cal este proceso se realiza cada 8 días.

Para las aves que pueden llegar a la cama a alimentarse de las lombrices se colocó una tapa en polisombra para poder evitar el ingreso de estas.

*Fotografía 20*

*Tapa de polisombra*



*Fuente: Propia*

### **Diseño de aprovechamiento**

Para el diseño de aprovechamiento de residuos orgánicos se tiene en cuenta la población para la cual se le brinda el servicio de aseo y de esta manera utilizar residuos sólidos orgánicos biodegradables.

#### **Principios de diseño**

La disposición del área de aprovechamiento puede mejorar para la estabilización de la fracción de residuos sólidos orgánicos biodegradables, preparando la capacidad de operación del personal.

Según la RAS 2012 establece los siguientes aspectos constructivos para el diseño de edificaciones para el aprovechamiento:

- Contar con un área mínima para la recepción de los residuos a recuperar y prever la capacidad de almacenamiento.
- Tener vías de acceso de acuerdo al tipo de equipos de transporte a utilizar según rutas de recolección selectiva.
- Contar con un sistema de ventilación y extracción adecuado.
- Contar con sistema de prevención y control de incendios.
- Debe contar con las siguientes áreas de operación: pesaje, recepción, selección y clasificación, procesos para materiales aprovechables, procesos para materiales de rápida biodegradación, bodega o almacenamiento de materia prima y de productos procesados o reciclados.
- Dependiendo de la población, se recomienda para el diseño de las instalaciones de aprovechamiento, la mecanización así:
  - ✓ Menor o igual a 3,000 usuarios: Manual. No se requiere equipo mecanizado con uso de energía.
  - ✓ De 3,001 a 8,000 usuarios: Semi-mecanizado. Se requieren bandas transportadoras de separación, embaladoras mecánicas, equipos de fraccionamiento y sistemas de oxigenación dinámica o estática para los procesos de aprovechamiento de fracciones de residuos sólidos orgánicos biodegradables.
  - ✓ Mayor a 8.001 usuarios: Mecanización. Aplica para todos los procesos.

Se hace la proporción del área requerida para cumplir con las necesidades básicas de seguridad y salud a los operarios y a su vez en cumplimiento ambiental.

### **Acceso**

El acceso al sistema de aprovechamiento se hace por la vía principal del smirs, el área dispuesta cuenta con dimensiones adecuadas para permitir el tránsito de los vehículos dentro de la planta.

En la entrada del relleno sanitario se encuentra instalada una báscula para efectuar el pesado de los vehículos recolectores.

### **Trafico**

El tráfico para llegar al sistema se encuentra como única vía secundaria, en estado destapado y poco transitada. El tránsito al interior del sistema posee espacio para evitar el retardo en los procesos y accidentes dentro del área de trabajo.

### **Ventilación e Iluminación**

La iluminación del sistema en general será natural en aprovechamiento de la luz solar, los sitios de procesos y almacenamiento contarán con energía eléctrica para suministrar la luz en horas donde sean necesarios. El sistema de ventilación será ejecutado por el uso de espacios amplios en todos los procesos logrando con esto la eliminación o reducción de vectores.

### **Determinación del nivel de complejidad para proyectos de aprovechamiento**

Los pasos a considerar para desarrollar el diseño están contemplados en la sección 1 y 5 del Título F de la RAS 2012, en la primera sección establece el procedimiento particular de diseño de sistemas de aseo urbano, estos pasos son:

- Definir el nivel de complejidad

- Estimación de la población
- Establecer la producción per cápita
- Caracterización de residuos sólidos (Ver página 48: Resultados)
- Estimar Peso Específico y densidades (Ver página 66: Resultados)
- Nivel de complejidad

Para la determinación del nivel de complejidad de un proyecto de aprovechamiento de los residuos sólidos en Colombia se toma como base lo señalado en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS-2000, en este caso se establece cuatro niveles:

**Tabla 22**

***Nivel de complejidad***

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana (habitantes)	Capacidad económica
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	>60000	Alta

Adaptado de: (RAS, 2012)

Para efecto cumplimiento el nivel de complejidad del municipio de Tame se tiene que es MEDIO-ALTO, teniendo estudios previos de la población.

**Población**

Para realizar la proyección de población se tuvo en cuenta los datos poblacionales de los últimos censos realizados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y el

método geométrico propuesto para este nivel de complejidad según el Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico – RAS en el numeral B.2

**Tabla 23**

**Variables proyección de población**

Convención	Descripción	Urbana
<b>Puc</b>	Población correspondiente al último censo	14751
<b>Pci</b>	Población correspondiente al censo inicial	10009
<b>Tuc</b>	Año último censo	2020
<b>Tci</b>	Año censo inicial	2005
<b>Tf</b>	Año de la proyección	2022
<b>Pf</b>	Población final	15528
<b>r</b>	Tasa de crecimiento anual	0,026

*Fuente: Propia*

La proyección de la población se realizó para un periodo de diseño de 10 años, en la siguiente tabla se muestra la proyección a servir.

**Tabla 24**

**Proyección de población**

AÑO PROYECTADO	POBLACIÓN URBANA
2022	15528
2023	15931
2024	16345
2025	16769
2026	17204
2027	17651
2028	18109
2029	18579
2030	19062
2031	19557
2032	20065

*Fuente: Propia*

Teniendo en cuenta los datos obtenidos anteriormente se determina para el municipio de Tame y su nivel de complejidad medio –alto una población proyectada para el año 2032 de 20065 habitantes en la zona urbana.

### **Proyección de la producción per cápita.**

Teniendo en cuenta los valores establecidos en la tabla F.1.1 Valores indicativos para municipios colombianos del Ras 2000, 0,53 kg/hab-día. El índice de producción per cápita calculado para el municipio de Tame se encuentra dentro de los valores indicativos.

A continuación se proyectara la PPC para la población urbana del municipio con una tasa de crecimiento anual supuesta del 1.0%, esta tasa de crecimiento fue tomada del documento Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del Municipio de Tame.

*Tabla 25*

*Proyección de la PPC*

<b>AÑO PROYECTADO</b>	<b>PPC (Kg/hab*día)</b>
2022	0,748
2023	0,755
2024	0,762
2025	0,770
2026	0,778
2027	0,786
2028	0,794
2029	0,802
2030	0,810
2031	0,818
2032	0,826

*Fuente: Propia*

### **Proyección de generación de residuos sólidos en el Municipio de Tame**

Conociendo la población y producción per cápita para un periodo de 10 años, se proyecta la cantidad de residuos sólidos al día, semana, mes y año que generara los habitantes del municipio de Tame.

Tabla 26

Proyección de residuos sólidos

AÑO	PPC (Kg/hab*día)	POBLACIÓN	RESIDUOS SOLIDOS				
			Kg/Día	Ton/Día	Ton/Semana	Ton/Mes	Ton/Año
2022	0,748	15528	11614,94	11,61	81,27	348,3	4179,6
2023	0,755	15931	12027,90	12,03	84,21	360,9	4330,8
2024	0,762	16345	12454,89	12,45	87,15	373,5	4482
2025	0,770	16769	12912,13	12,91	90,37	387,3	4647,6
2026	0,778	17204	13384,71	13,38	93,66	401,4	4816,8
2027	0,786	17651	13873,69	13,87	97,09	416,1	4993,2
2028	0,794	18109	14378,55	14,38	100,66	431,4	5176,8
2029	0,802	18579	14900,36	14,90	104,3	447	5364
2030	0,810	19062	15440,22	15,44	108,08	463,2	5558,4
2031	0,818	19557	15997,63	16,00	112	480	5760
2032	0,826	20065	16573,69	16,57	115,99	497,1	5965,2

Fuente: Propia

**Proyección por tipo de residuos sólidos**

Teniendo el porcentaje de residuos sólidos y la cantidad de los mismos de manera general se hace una proyección hasta el año 2032 de la cantidad de material generado en el casco urbano en Toneladas al día.

Tabla 27

Proyección de residuos solidos del municipio

AÑO	TON/DIA							Textiles 2%
	Orgánico 59%	Plástico 10%	Cartón 6%	Vidrio 3%	Sanitario 14%	Icopor 2%	Botellas pet 4%	
2022	6,85	1,161	0,697	0,348	1,625	0,232	0,464	0,232
2023	7,098	1,203	0,721	0,360	1,684	0,240	0,481	0,240
2024	7,345	1,245	0,747	0,373	1,743	0,249	0,498	0,249
2025	7,617	1,291	0,775	0,387	1,807	0,258	0,516	0,258
2026	7,894	1,338	0,803	0,401	1,873	0,268	0,535	0,268
2027	8,183	1,387	0,832	0,416	1,941	0,277	0,554	0,277
2028	8,484	1,438	0,862	0,431	2,013	0,288	0,575	0,288
2029	8,791	1,49	0,894	0,447	2,086	0,298	0,596	0,298
2030	9,110	1,544	0,926	0,463	2,161	0,309	0,617	0,309
2031	9,44	1,6	0,96	0,48	2,24	0,32	0,64	0,32
2032	9,776	1,657	0,994	0,497	2,320	0,331	0,662	0,331

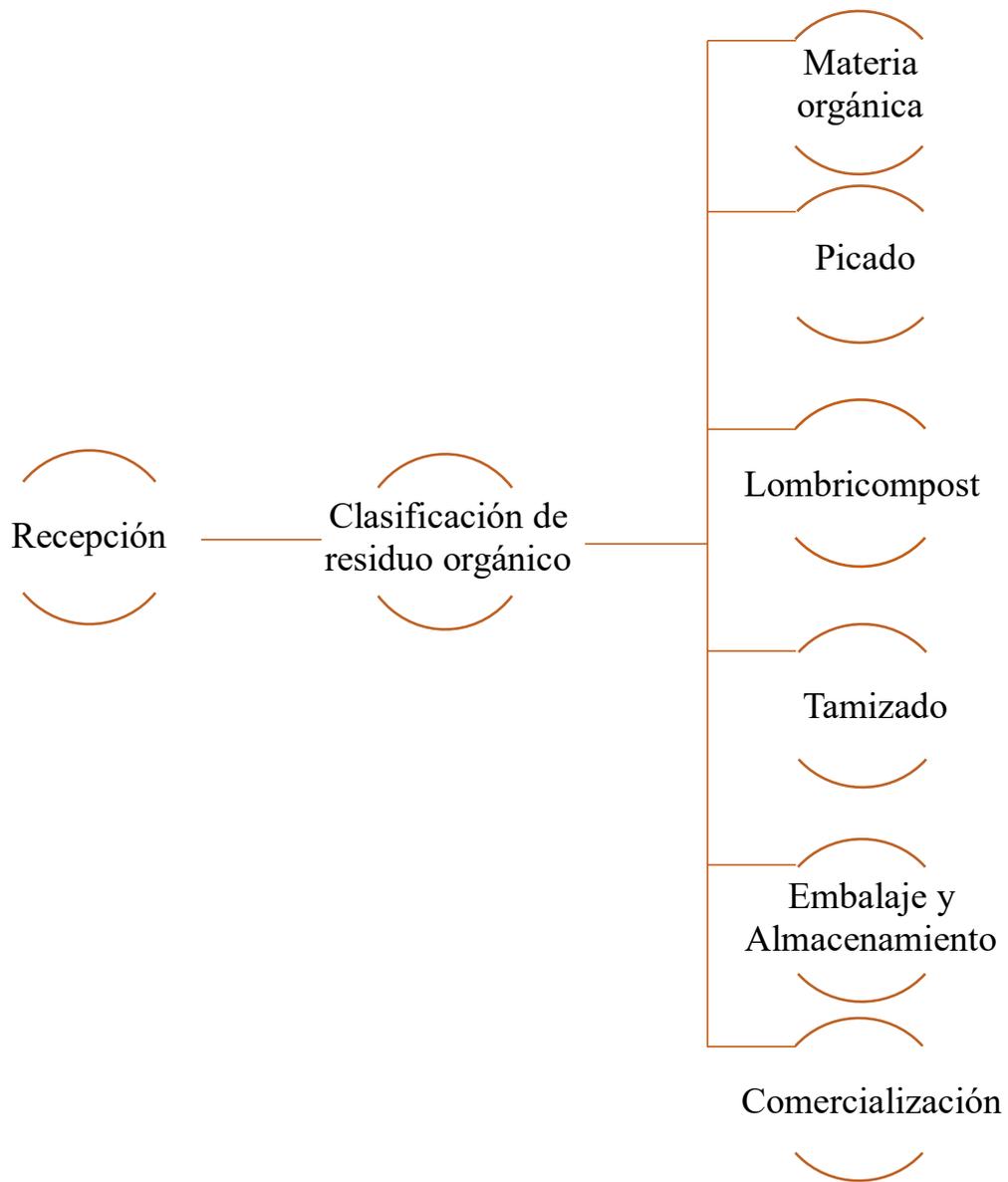
Fuente: Propia

### Diseño de procesos para el aprovechamiento

El sistema de aprovechamiento de los residuos sólidos, esboza teniendo en cuenta el tipo de residuo a utilizar para el aprovechamiento con lombricompost. En la figura 10 se presenta el proceso de operación para la planta de manera general.

Figura 12

Proceso de aprovechamiento de residuos orgánicos



Fuente: Propia

## **Equipos para ejecutar los procesos.**

### **Recepción**

Este proceso se realiza al inicio de la planta, la recepción será efectuada en el hangar del relleno sanitario, donde los operarios proceden a seleccionar el material necesario.

#### *Fotografía 21*

#### *Hangar relleno sanitario*



*Fuente: Propia*

### **Existencia.**

Hangar, el cual tiene techo en teja arquitectónica, estructura metálica y piso en concreto, las dimensiones son 20.26 m de largo, 15m de ancho, 8.65m altura máxima y 6.48m altura mínima.

### **Necesidad.**

Teniendo en cuenta aspectos técnicos se requiere construir canales perimetrales al hangar para el manejo de aguas lluvias y de escorrentía.

### **Transporte**

Cuando el material ya se encuentre separado se conducirá hacia el lugar de pre compostaje de la materia orgánica con ayuda de la maquina pajarita y el restante se llevara a disposición final.

*Fotografía 22*

*Retrocargador*



*Fuente: Propia*

**Existencia.**

Se cuenta con un retrocargador tipo pajarita y herramienta menor como carretillas.

**Necesidad.**

Se requiere un vehículo facilite el transporte de los residuos previamente separados y la descarga de los mismos hasta el área de triturado

Personal operativo para el cargue de los residuos en la área de recepción y descargue de los mismos en área de triturado.

**Trituración**

La trituración se llevará a cabo mecánicamente por un equipo triturado en cumplimiento con la reducción del volumen para almacenamiento y transporte del material ya procesado.

*Fotografía 23*

*Residuos aptos para triturado*



*Fuente: Propia*

*Fotografía 24*

*Trituración manual*



*Fuente: Propia*

**Existencia.**

Para la prueba piloto existente se realizó el proceso de forma manual, con el uso de cuchillos y tablas.

Área tipo cubículo con unas medidas de Ancho: 4m, Largo: 4,90 m, Alto: 2,40 m, para la ubicación de la máquina trituradora.

**Necesidad.**

- Máquina trituradora de fertilizante.
- Acondicionar el área para la ubicación de la maquina: se requiere instalar techado y puerta segura.
- Canecas para almacenamiento de residuos triturados.
- Personal operativo para el manejo de la máquina trituradora y recepción de residuos triturados.

Tabla 28

*Características físicas del triturador*

<b>Características físicas del Triturador</b>	
Nombre:	WFSJ-60 Máquina trituradora de fertilizante.
	
Capacidad de producción	2-3ton/Hour, 10000ton/Year
Trituración	Menos de 3mm

**Tamizado**

El abono extraído del proceso de Lombricultura será cernido mecánicamente para obtener un producto de mejor calidad.

Tabla 29

*Características físicas tamizadora*

<b>Características físicas Tamizadora</b>	
Nombre	Máquina de tamizado (SZS1020)
	
Dimensión	2300*1150*950 mm
Capacidad	10 Ton/H
Voltaje	220 V~550 V

### **Disposición de espacios**

La disposición de espacios tiene cubrimiento para los procesos de aprovechamiento de residuos orgánicos provenientes del área urbana ya que es el sector donde la empresa CARIBABARE presta el servicio.

### **Espacio proceso lombricultura**

El espacio a utilizar para el proceso de lombricultura es obtenido conociendo la cantidad de residuos orgánicos proyectados al año 2032 con un total de 9976 kg de los cuales será aprovechado un 60%, o sea una cantidad de 5985,6 kg. Esa cantidad será almacenada en zona de

acondicionamiento; conociendo que la densidad de estos residuos es un  $185,04 \text{ kg/m}^3$  se determina que estos ocupan un espacio volumen de:

$$V = \frac{5985,6 \text{ kg}}{185,04 \text{ kg/m}^3}$$

$$V = 32,35 \text{ m}^3$$

Determinado este volumen se sabe que cuando los residuos orgánicos son picados, su volumen se reduce en un 30%, entonces:

$$32,35 \text{ m}^3 \rightarrow 100\%$$

$$X = 30\%$$

$$X = 9,71 \text{ m}^3$$

Entonces el volumen del material picado para un día corresponde a la diferencia de los valores encontrados anteriormente;

$$V = 22,64 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, se tiene para un almacenamiento de 30 días:

$$V = 22,64 \text{ m}^3 \times 30 = 679,2 \text{ m}^3$$

Asumiendo las dimensiones de cada lecho ( $h=0,45$ ;  $a= 1\text{m}$ ;  $L=20\text{m}$ ) entonces para conocer la cantidad de lechos totales se divide la cantidad de volumen de residuos picados entre el volumen de cada uno. Finalmente obtenemos el área a ocupar por cada lecho.

Tabla 30

Espacio para lechos material orgánico.

V residuos picados (m <sup>3</sup> )	Altura h (m)	Ancho a (m)	Largo L (m)	Volumen V (m <sup>3</sup> )	Cantidad de lechos	Área del lecho (m <sup>2</sup> )
679,2	0,35	1	20	7	97	20

Fuente: Propia

La cantidad de lechos o camas necesarias para el procesamiento de los residuos orgánicos son 97 del cual el área de cada una de estas camas es de 20m<sup>2</sup>. A continuación, se obtuvo un área total de procesamiento de 1940 m<sup>2</sup>. Seguidamente se determina el área total requerida con los espacios necesarios para realizar adecuadamente el tránsito y mantenimiento al proceso dispuesto para material orgánico con medidas de 3 m de espaciamiento entre lecho y lecho.

### Espacio de acondicionamiento de materia orgánica.

La cantidad de residuos orgánicos es de 5985,6 kg. Para el acondicionamiento se utiliza una maquina picadora, seguidamente se dimensiona para el almacenamiento de 3 días.

$$Area = \frac{(32,35m^3) \times 3}{1m} = 97,05m^2$$

$$A = 97,05m^2 \times 1,4 = 135,87m^2$$

Se hace una aproximación del área para flujo de personal y operación, entonces:

$$A = 135,87m^2 \approx 170m^2$$

### Existencia.

Se cuenta con 16 camas con paredes de concreto y piso en terreno natural con unas medidas de Ancho: 1m Largo: 20m Alto: 0.45m, de las cuales se proyecta el uso de 4 camas para el área de

pre compostaje y 12 para el proceso de lombricompost. En la prueba piloto de lombricompost se usan actualmente dos camas, una para el proceso de pre compostaje y una para el proceso de lombricompost. (Ver Imagen 6), en cuanto a la cama usada para el proceso de lombricompost se hace un uso de 10.0 m de largo, además se acondiciona el piso instalando un material geosintético (plástico) seguidamente una capa de tierra negra, se agrega el pie de cría de lombrices (12 kilos, que representan aproximadamente 4800 lombrices), se realiza una mezcla de estas dos capas, se adiciona la capa de alimento (residuos orgánicos precompostados) y finalmente se adiciona una capa de material de hojarasca con el objetivo de evitar el ingreso de luz.

El área donde se realiza el proceso de pre compostaje y lombricompost cuenta con un techo en lámina de zinc, estructura de madera y cerramiento en material polisombra negro.

### **Necesidad**

Se requiere realizar el mantenimiento de las camas existentes: adecuación del área, mantenimiento de las paredes, adecuación de piso endurecido de las camas de lombricompost, instalación de cerramiento resistente, techo para el área de las 16 camas, tapas en polisombra para las camas de lombricompost, instalación de sistema de drenaje, transporte, almacenamiento y recirculación de lixiviados, instalación del sistema de riego.

Personal operativo para el monitoreo.

### **Espacio de acondicionamiento de lombricompost.**

Después de ejecutado el proceso de lombricompost se transfiere a un espacio adecuado para refinar y embalar el producto, en el proceso de tamizado se pierde un 5% de los residuos entrantes. La máquina tamizadora posee 1,12 m de alto, 2 m de largo y 0,85 m de ancho

obteniéndose de esta manera un área ocupada por la maquinaria de  $1,7 \text{ m}^2$ , sin embargo, se deja a disposición un área de 3 por 3 metros para  $9 \text{ m}^2$ , para el respectivo mantenimiento del proceso.

$$A = 9 \text{ m}^2$$

Del proceso de lombricultura se obtiene un 65% de material orgánico, entonces esto me genera:

$$\text{Compost} = 5985,6 \text{ kg} \times 65\% = 3890,64 \text{ kg}$$

Seguidamente este material será tamizado, en este proceso se pierde un 5% de compost, generando finalmente:

$$\text{Compost} = 3890,64 \text{ kg} \times 60\% = 2334,37 \text{ kg}$$

Luego de ser procesado este se almacena en sacos cuyas medidas son  $0,34\text{m} \times 0,78\text{m} \times 0,32\text{m}$  de ancho por largo por alto respectivamente, con una capacidad de 40 kg, de esta manera conozco la cantidad de sacos que devengo de esta producción:

$$N^{\circ} \text{ sacos} = \frac{2334,37 \text{ kg}}{40 \text{ kg}} = 58,36 \approx 59$$

$$A = 0,34\text{m} \times 0,78\text{m} = 0,27 \text{ m}^2$$

El almacenamiento se hará en acumulo de 6 filas cuadradas de 5 niveles y esto nos ocupara un espacio para 24 sacos que finalmente arroja un área de:

$$A = 0,27 \text{ m}^2 \times 24 = 6,48 \text{ m}^2 \approx 7 \text{ m}^2$$

Para almacenar por un mes el producto, se obtiene lo siguiente:

$$N^{\circ} \text{ sacos} = 59 \times 30 = 1770$$

En el área de almacenamiento me caben 29 sacos organizados en los 5 niveles y de 6 filas cuadradas.

$$\text{Sacos acomodados} = 24 \times 5 = 29$$

$$N^{\circ} \text{ areas sacos} = \frac{1770}{29} = 61$$

$$A = 7 \text{ m}^2 \times 61 = 427 \text{ m}^2$$

$$A \text{ total de producción} = 9 \text{ m}^2 + 60 \text{ m}^2 = 69 \text{ m}^2$$

$$A \text{ total de producción} = 69 \text{ m}^2 \times 1.4 = 96,6 \text{ m}^2$$

Se hace una aproximación del área para flujo de personal y operación, entonces:

$$A = 97 \text{ m}^2 \approx 130 \text{ m}^2$$

El manejo de lixiviados obtenidos a través del proceso de lombricompost son captados por tuberías dispuestas en el suelo, conducidos a un tanque de almacenamiento que realiza un proceso de recirculación hacia los lechos con dimensiones de 2 m, 2m, 1,2 m, de ancho, largo y alto respectivamente, para un área de 4 m<sup>2</sup>.

### **Espacio de administración, cafetería y baños**

El relleno sanitario cuenta con un área administrativa con unas medidas de 4 m por 4,90 m para un área de:

$$A = 19,6 \text{ m}^2$$

Se cuenta con un área de baños de 8,29 m por 4,84 m para un área total de:

$$A = 40,13 \text{ m}^2$$

Cuentan con 2 vestier de 6,60 m por 2,53 m siendo un área de:

$$A = 16,70m^2$$

Y una cocina que tiene medidas de 2,46m por 1,95 m para un área de:

$$A = 4,80m^2$$

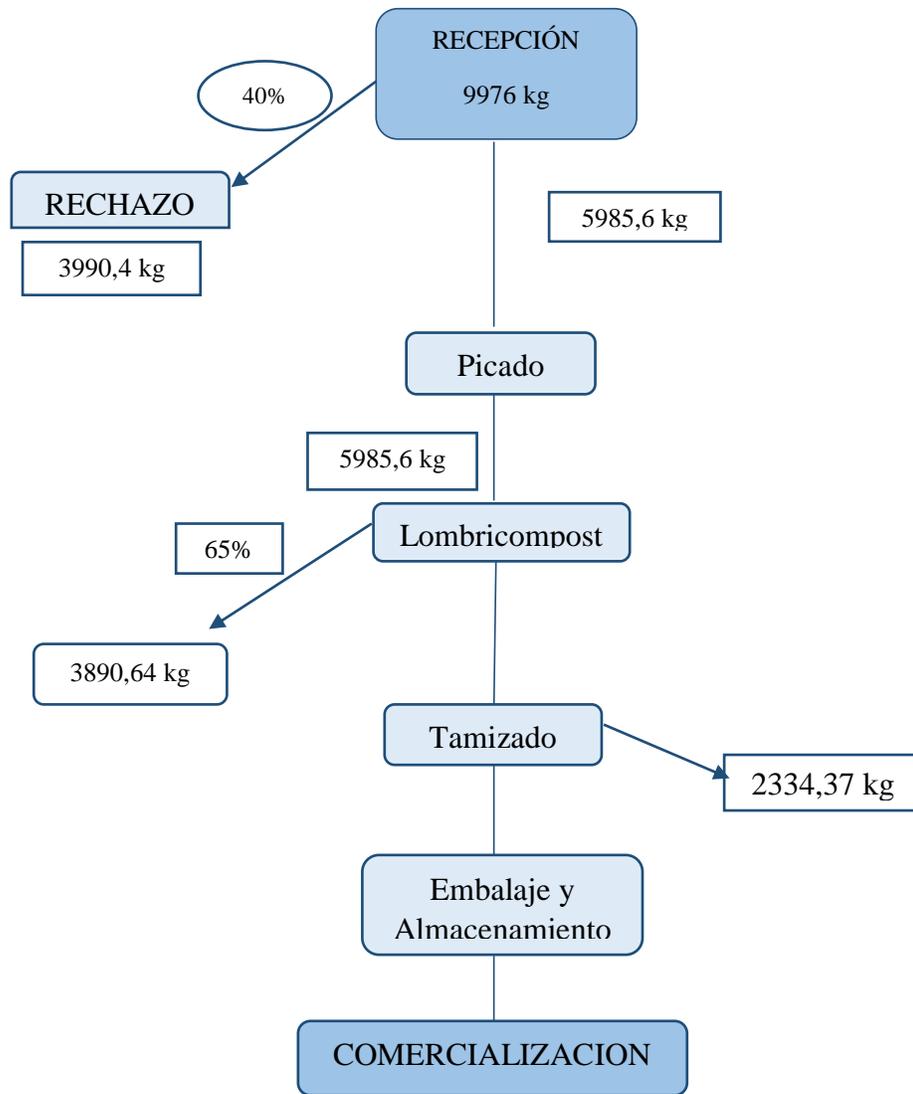
El área total de baños, vestier y cocina es de 7,94 m por 8,55m para un área de:

$$A = 67,89 m^2$$

Se tuvo un rechazo del 40% teniendo en cuenta los estudios realizados donde se observó que parte de la materia orgánica que llega al relleno sanitario es hoja de poda la cual no, nos sirve para alimento de la lombriz. En la figura 11 se muestra el flujo del proceso ejecutado con el material orgánico.

Figura 13

Balance masa de organicos



Fuente: Propia

## **Diseño planta de aprovechamiento**

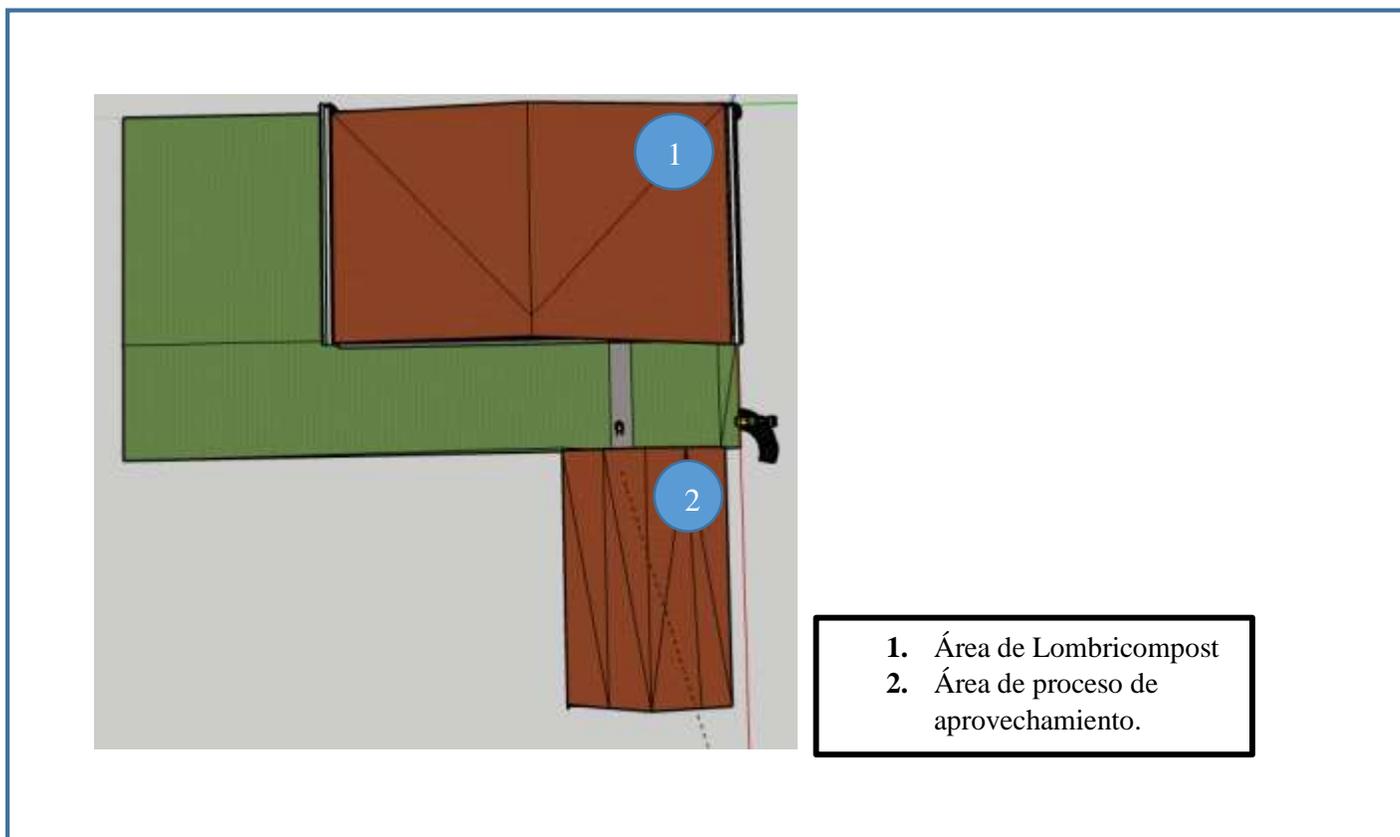
Se realizó el diseño de la planta de aprovechamiento con las camas necesarias para el proceso de lombricompost y pre compostaje las cuales cuentan con unas medidas de (Alto: 0,45m Ancho: 1m y Largo: 20m) se cuenta con 12 camas para el proceso de lombricompostaje y 2 camas para el pre compostaje de los residuos a su vez tienen un sistema de recolección de lixiviado este permite por medio de una espina de pescado ubicado dentro de cada cama es decir conduce a una tubería que llega al tanque de almacenamiento de lixiviados, una vez sea necesario realizar el proceso de recirculación para una mejora de la calidad de estos lixiviados buscando un color negro y espeso, esto es recirculado por medio de una motobomba que lleva por medio de la tubería la cual contiene en cada cama una llave que permite cerrar cuando el operario observe que ya se obtiene la humedad correcta. Para el riego de las camas se cuenta con un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias el cual en el techo por medio de una canaleta obtiene el agua siendo recogida en los tanques a este se le conecta una manguera la cual permite realizar un riego manual esto nos admite tener un óptimo control sobre la humedad requerida en cada cama.

Dentro de la estructura se recomienda de metal, un techado en zinc la cobertura perimetral donde van a estar instaladas las camas se recomienda con polisombra para que impida el paso directo de la luz hacia las camas en aras de mantener la temperatura ideal para la reproducción de las lombrices y descomposición de la alimentación.

Cuenta con área total de 375 m<sup>2</sup> en los cuales se distribuyen en área de trituración, tamizado, empaque, almacenamiento y área administrativa, la cual debe contar con condiciones sanitarias correctas, con paredes y pisos resistentes un techo que impida la entrada de aguas lluvias.

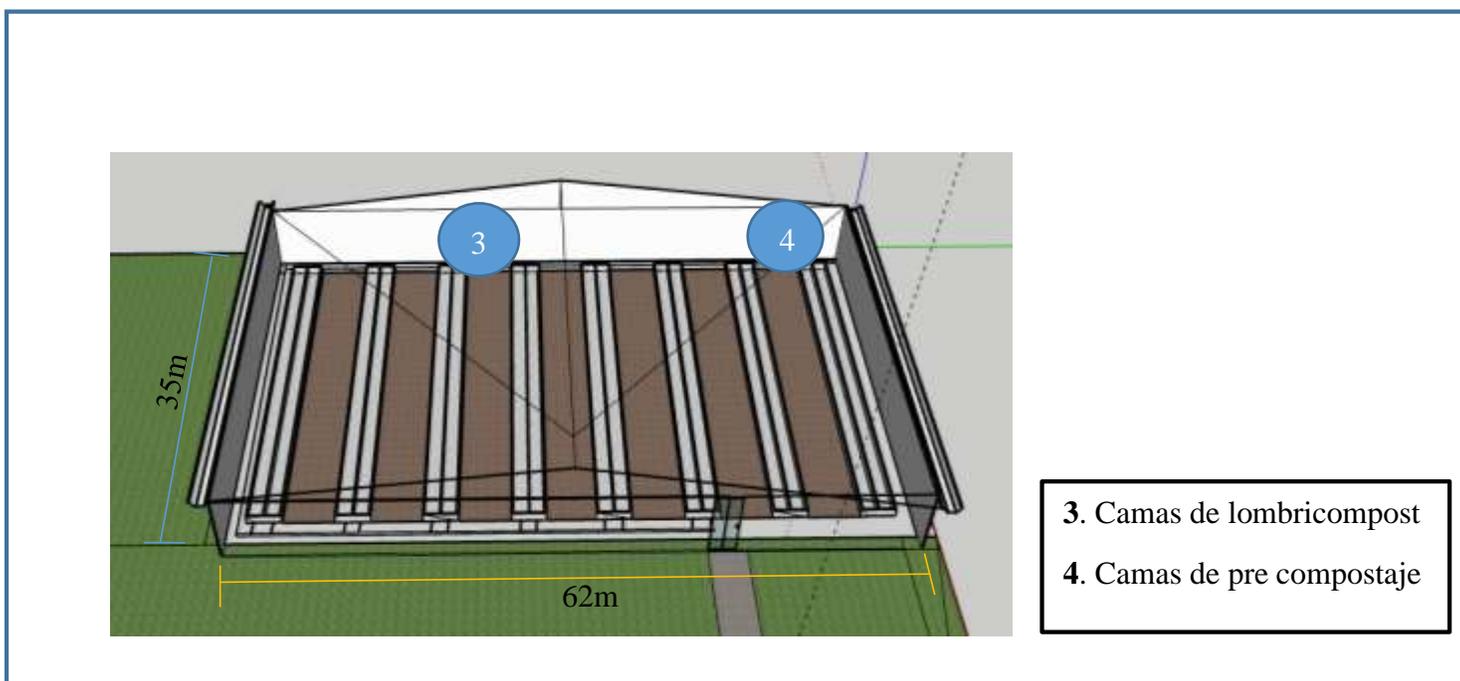
**Figura 14**

**Area de planta de aprovechamiento**



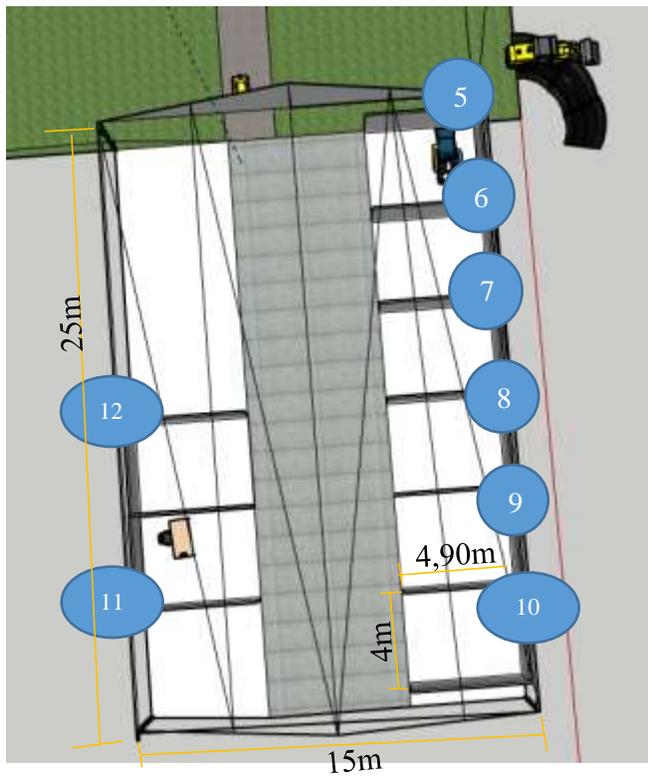
**Figura 15**

**Camas de lombricompostaje**



**Figura 16**

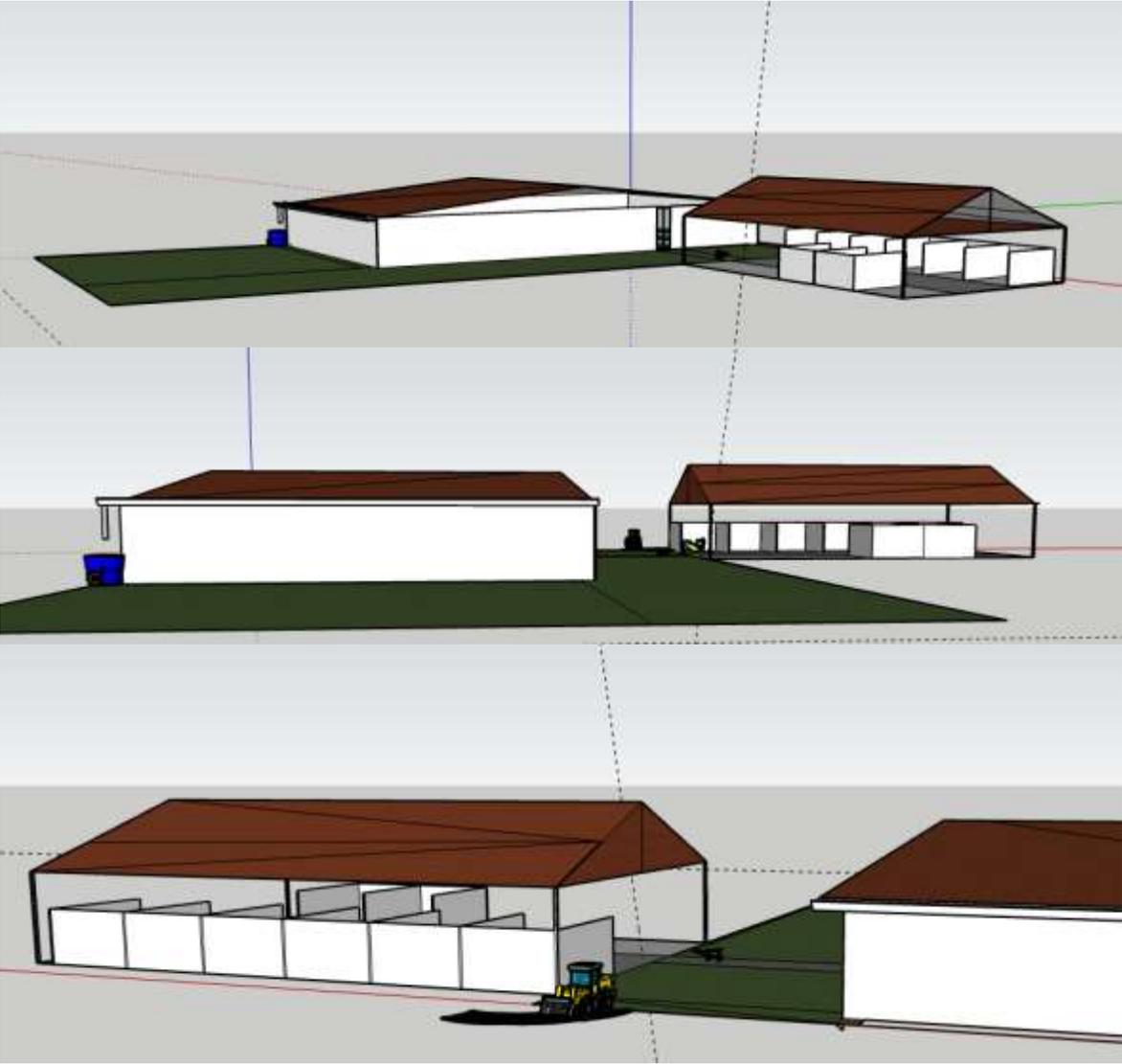
**Area de producción**



- 5. Zona de triturado.
- 6. Zona de secado
- 7. Zona de Tamizado
- 8. Zona de Empacado
- 9. Zona de Almacenamiento
- 10. Laboratorio
- 11. Zona Administrativa
- 12. Bodega.

*Figura 17*

*Vistas laterales*



## **Manual de funcionamiento de lombricompost**

En búsqueda de un mejor manejo de las actividades de la planta de aprovechamiento de residuos orgánicos y que los operarios cuenten con las herramientas teóricas necesarias para poder desarrollar cada una de las etapas de las actividades se elaboró un manual de funcionamiento de lombricompost teniendo en cuenta las actividades realizadas en campo en la prueba piloto y con información secundaria con el fin de llevar a cabo una guía con un paso a paso de este proceso brindando facilidad en la lectura y entendimiento a la persona encargada en años próximos de este trabajo. **Ver anexo C**

### **Actividades de apoyo realizadas**

Se realizó el acompañamiento y apoyo en diferentes capacitaciones direccionadas por el área de Aseo GOAS de la empresa, en la cual se fue a diferentes colegios y entidades, el tema a tratar era “Separemos en la fuente con CARIBABARE”

*Fotografía 25*

*Capacitación batallón Rafael Navas Pardo*



*Fuente: Propia*

*Fotografía 26*

*Capacitación Colegio Froilan Farias*



*Fuente: Propia*

*Fotografía 27*

*Capacitación a ICBF "Asofamy"*



*Fuente: Propia*

Asistencia a la capacitación dirigida en el relleno sanitario sobre la importancia de la conservación de la fauna y flora dirigida por parte del ingeniero ambiental Jorge Acosta en el cual nos habló sobre interacciones ecológicas, nichos ecológicos, importancia de la preservación e identificación de especies.

*Fotografía 28*

*Capacitación*



*Fuente: Propia*

*Fotografía 29*

*Certificación de asistencia*



*Fuente: Propia*

## Conclusiones

- Realizada la caracterización de residuos sólidos en el área urbana del municipio de Tame se pudo evidenciar que hay una diferencia en el consumo por estratos, esto se observó al momento de realizar el cuarteo teniendo en cuenta que al separarlos por tipo de residuo se encontró que en el estrato 1 llegaba más residuos de cocina y en el estrato 3 llegó más residuos como contenedores de icopor para alimentos, esto puede ser por diferentes razones como el cambio en los hábitos de consumo, estilos de vida, entre otros.
- Se puede concluir que la producción per capita obtenida fue de 0,748 (kg/hab/día) siendo cercana a la proyección realizada en el PGIRS del 2015 que para el 2022 la PPC del municipio sería de 0,726 (kg/hab/día).
- La composición porcentual de los residuos nos arrojó que el residuo que más se genera en el municipio es el residuo orgánico con un 59% y los que menos llega a disposición final son icopor y textiles con un 2%. Para la densidad se pudo obtener que el valor más alto lo recibe los residuos orgánicos con un valor de 185,04 kg/m<sup>3</sup> y el valor mínimo los residuos de icopor con un valor de 3,937 kg/m<sup>3</sup>.
- En la prueba piloto de lombricompost se pudo evidenciar que el funcionamiento para los diferentes parámetros fue exitoso teniendo el pH y temperatura siempre bajo los rangos establecidos, siendo así un sitio adecuado para este proceso, se observó el crecimiento de población de las lombrices en los primeros 20 días de inicio, la alimentación suministrada fue favorable para este proceso ya que se escogía justamente lo requerido para ellas y debidamente picado para facilitar el comer de estas.

- Para el diseño de la planta de aprovechamiento se tuvo en cuenta las áreas existentes que se pueden llegar a utilizar, ayudando esto a minimizar gastos en infraestructura teniendo en cuenta lo visto en la prueba piloto se manejó este sistema de aprovechamiento dándonos a conocer en que se podría mejorar o adecuar de más en el sitio para un mejor rendimiento.
- En el manual de funcionamiento de lombricompost se tuvo en cuenta todo lo requerido para dar claridad el paso a paso para un montaje de lombricompost, teniendo en cuenta la teoría necesaria como la parte práctica, al momento de que la persona encargada de realizar el montaje le sea claro y entendible el proceso.

## Recomendaciones

- La caracterización de residuos sólidos es recomendable realizarlo una vez al año como lo dispone la licencia ambiental dirigida a la empresa para tener datos más exactos de la cantidad generada en el municipio por los diferentes sectores.
- Establecer la implementación de Estrategias de Información y Educación (EIC) como maniobra para cumplir los objetivos de un alcance de aprovechamiento del 60% con respecto a la buena cultura de separación en la fuente desde los hogares.
- Proyectar para la ejecución de un proyecto de tal magnitud, el rubro suficiente facilitando de esta manera la adquisición de equipos técnicos que cumplan con procesos los de (recepción, transporte, separación y tratamiento) de los residuos sólidos.
- Gestión para pruebas en laboratorio del abono humus obtenido para saber las características físicas y así obtener un abono de alta calidad para su comercialización y su respectivo certificado por parte de las autoridades competentes.
- Contar con quipos necesarios para poder tener un monitoreo en las camas de lombricompost con mayor exactitud mejorando la calidad del trabajo y el tiempo de este proceso.

## BIBLIOGRAFÍA

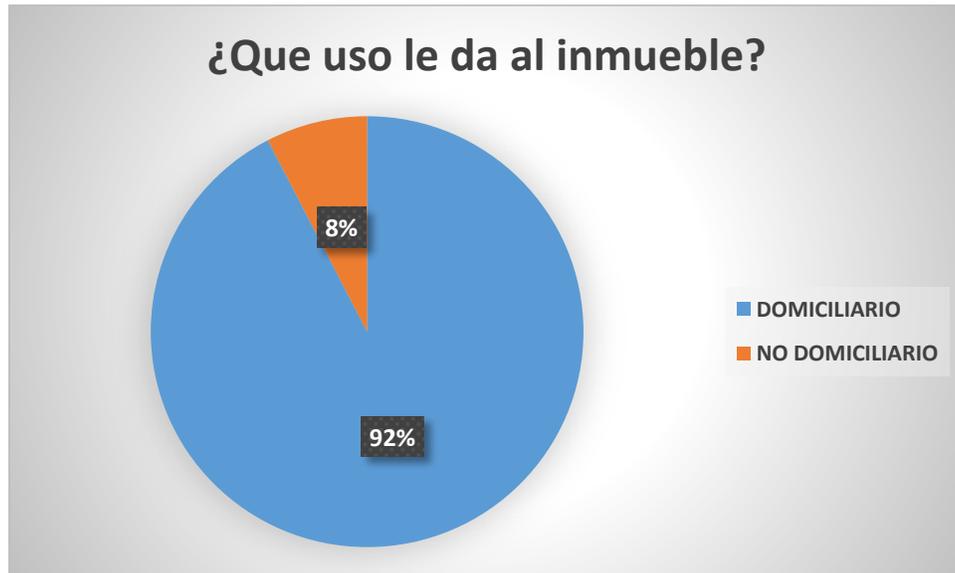
- Aguilar, H. A. (2019). *Universidad de ciencias y artes de Chiapas*. Obtenido de [https://www.unicach.mx/\\_/ambiental/descargar/Gaceta4/Lixiviados.pdf](https://www.unicach.mx/_/ambiental/descargar/Gaceta4/Lixiviados.pdf)
- Elorza, M. I. (2016). *Subdirección de medio ambiente*. Obtenido de [http://www.munistgo.info/medio\\_ambiente/biblioteca\\_digital/Compostaje\\_y\\_Lombricultura.pdf](http://www.munistgo.info/medio_ambiente/biblioteca_digital/Compostaje_y_Lombricultura.pdf)
- Gomez, J. A. (2011). *Ministerio de Medio Ambiente*. Obtenido de [https://www.miteco.gob.es/images/es/Manual%20de%20compostaje%202011%20PAGINAS%201-24\\_tcm30-185556.pdf](https://www.miteco.gob.es/images/es/Manual%20de%20compostaje%202011%20PAGINAS%201-24_tcm30-185556.pdf)
- Marin, L. E. (2018). *Eumed.net*. Obtenido de <https://www.eumed.net/rev/oel/2018/11/almacenes-inventarios.html>
- Mezo, B. (2015). *Amigos de la Tierra*. Obtenido de [https://www.tierra.org/wp-content/uploads/2015/03/compost\\_esp\\_v04.pdf](https://www.tierra.org/wp-content/uploads/2015/03/compost_esp_v04.pdf)
- Molano, D. L. (2015). *ResearchGate*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/342969921\\_Servicio\\_de\\_recuperacion\\_de\\_residuos\\_solidos\\_reciclables](https://www.researchgate.net/publication/342969921_Servicio_de_recuperacion_de_residuos_solidos_reciclables)
- Montaña, E. P. (1 de 02 de 2011). *Universidad de los Andes*. Obtenido de <https://gerenciacampus.uniandes.edu.co/content/download/2304/11870/file/5.%20Disposicion%20de%20Residuos.pdf>
- Mora, L., & Henriquez, C. (08 de 12 de 2003). *Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica*. Obtenido de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-0712.pdf>
- Ochoa, W. (12 de 2000). *CORANTIOQUIA*. Obtenido de [https://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/GESTI%20C3%93N%20AMBIENTAL/GA\\_CN\\_1904\\_1999.pdf](https://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/GESTI%20C3%93N%20AMBIENTAL/GA_CN_1904_1999.pdf)
- PBOT, P. B. (2008). *sistema de información geográfica para la planeación y el ordenamiento territorial*. Obtenido de <https://sigot.igac.gov.co/es/content/pot-municipales>
- RAS. (2012). *Reglamento tecnico del sector de agua potable y saneamiento basico*. Obtenido de <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulob-030714.pdf>
- Ruiz, M., Pastor, K., & Adriana, A. (4 de 12 de 2012). *Scielo Chile*. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v24n2/art07.pdf>
- Suarez, J. A., & Zárate, F. A. (2016). *Propuesta de Diseño de un Colegio Técnico Agropecuario En el Municipio de Tame – Arauca*. Bucaramanga. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/9390/GarciaSuarezJoseAndresOsorioZarateFreddyAlexander2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Tapias, M. J. (2017). *Guía de intervención sostenible de los residuos de la construcción*. Arauca: Monografía .

- Universidad de los Llanos – Gobernación de Arauca. (2019). *Formulación e Implementación del Plan de Ordenamiento Departamental de Arauca. Informe técnico final “Análisis de diagnóstico del Plan Básico Ordenamiento Territorial (PBOT) del municipio de Tame”*. Obtenido de Convenio interadministrativo 532 de 2016. Villavicencio – Colombia.
- Cortes. (2022). *Weather Spark*. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/25945/Clima-promedio-en-Tame-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Gonzalez, A. P. (2019). *Informe de la caracterización de residuos sólidos generados en el sector residencial del área urbana y rural del Municipio de Medellín y sus cinco corregimientos*. Obtenido de <https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/medellin/Temas/MedioAmbiente/Programas/Shared%20Content/Documentos/2019/Informe%20-Residencial%20Final.pdf>
- Montes, C. (2018). *Estudio de los residuos sólidos en Colombia*. Obtenido de [https://bdigital.uexternado.edu.co/bitstream/handle/001/2327/MKB-spa-2018-Estudio\\_de\\_los\\_residuos\\_solidos\\_en\\_Colombia?sequence=1](https://bdigital.uexternado.edu.co/bitstream/handle/001/2327/MKB-spa-2018-Estudio_de_los_residuos_solidos_en_Colombia?sequence=1)
- Nayibe Rodriguez, J. C. (2013). *MinTrabajo*. Obtenido de [https://issuu.com/pnudcol/docs/perfil\\_productivo\\_municipio\\_tame](https://issuu.com/pnudcol/docs/perfil_productivo_municipio_tame)
- Tame, A. d. (2022). *Alcaldía del Municipio de Tame - Cabalgando con transparencia*. Obtenido de <https://www.tame-arauca.gov.co/Paginas/default.aspx>
- urbanos, G. m. (2017). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo*. Obtenido de [file:///D:/Usuario/Downloads/T\\_proc\\_notices\\_notices\\_060\\_k\\_notice\\_doc\\_57423](file:///D:/Usuario/Downloads/T_proc_notices_notices_060_k_notice_doc_57423)

## ANEXOS

### Anexo A

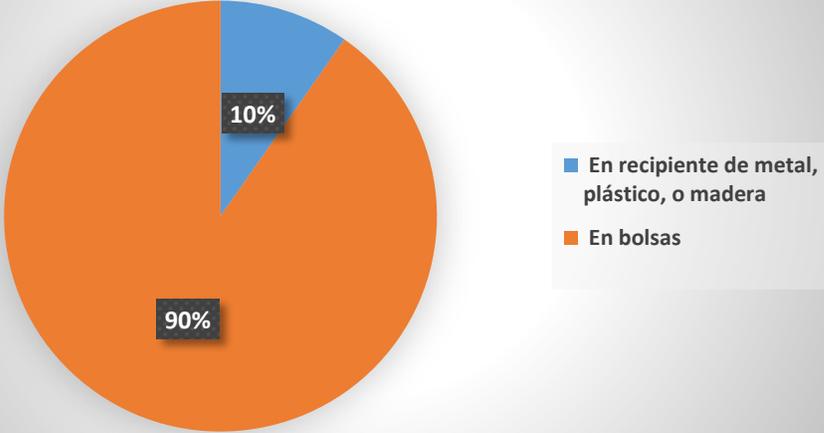
#### Resultados encuestas



*Fuente: Propia*

Teniendo en cuenta que el número mayor de muestras a realizar era el sector residencial por esto, se obtiene una mayor cantidad en domiciliario.

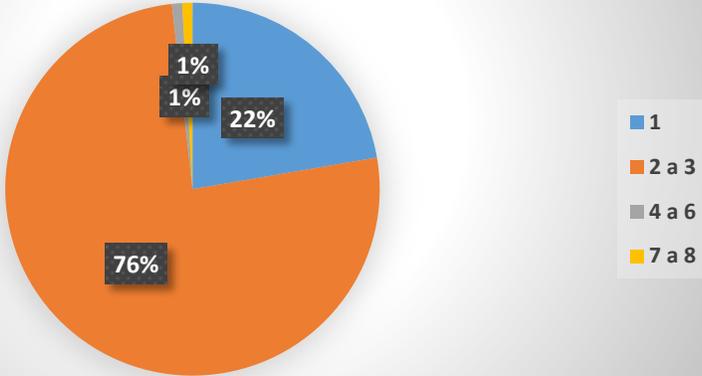
### ¿Como acumula la basura?



Fuente: Propia

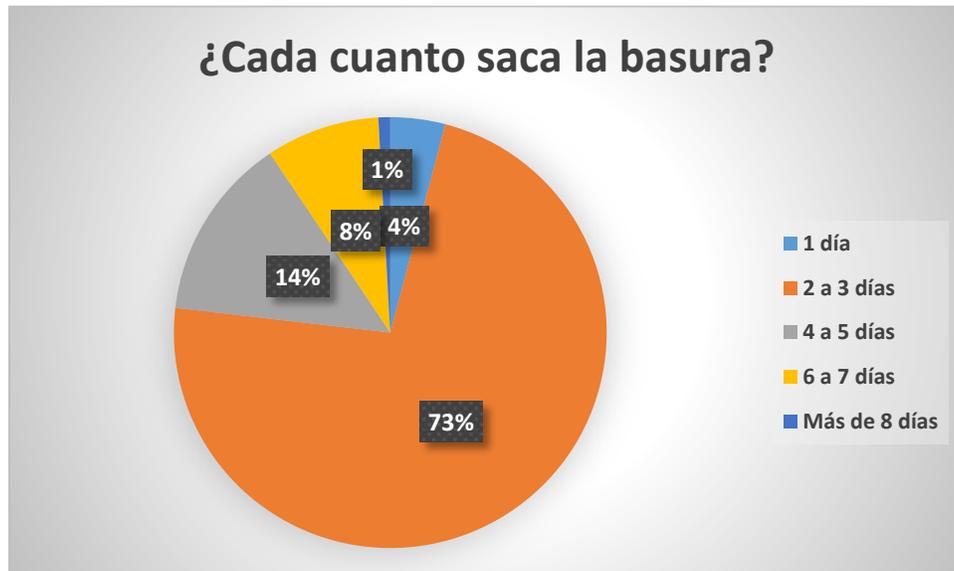
Se puede observar que la mayoría de habitantes del municipio aun consumen mucho plástico. Esto puede ser por falta de sensibilizaciones en el hogar.

### ¿Cuantos contenedores utiliza para acumular la basura?



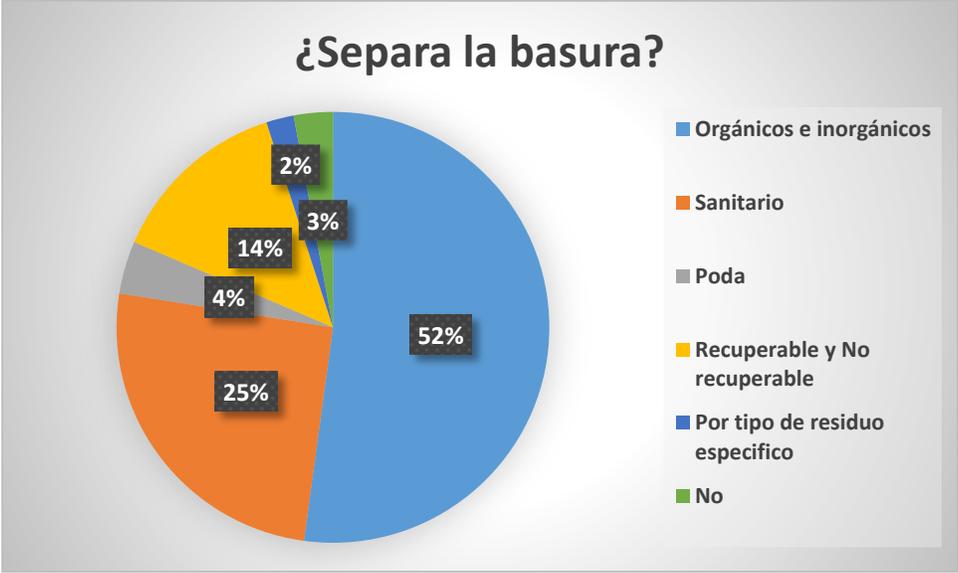
Fuente: Propia

Nos muestra que el número mayor de recipientes que utilizan son de 2 a 3 con un 76% lo que se puede concluir que si separan por tipo de residuo.



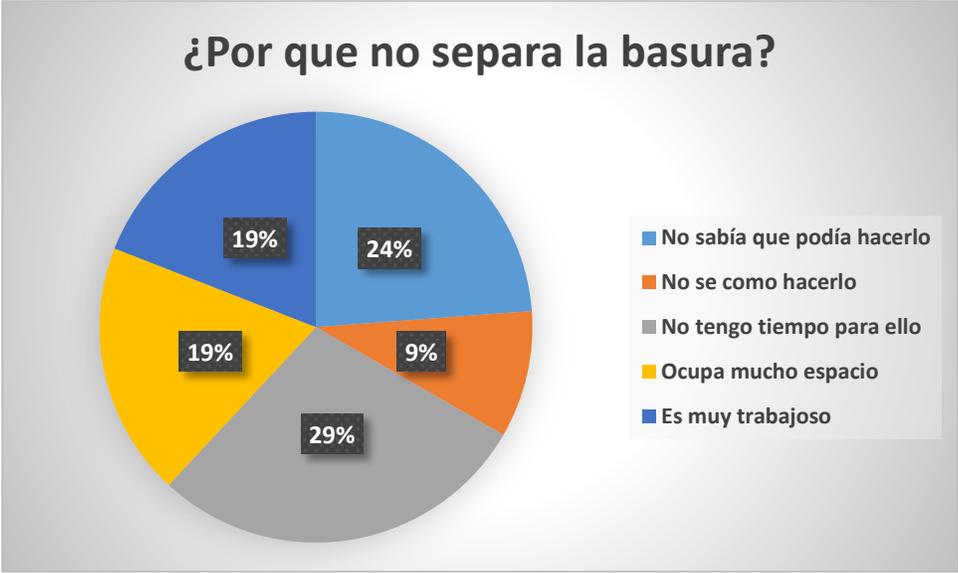
*Fuente: Propia*

La mayoría de las personas no dejan acumular la basura por tantos días teniendo en cuenta que nos arroja un 73% de viviendas que sacan de 2 a 3 días la basura.



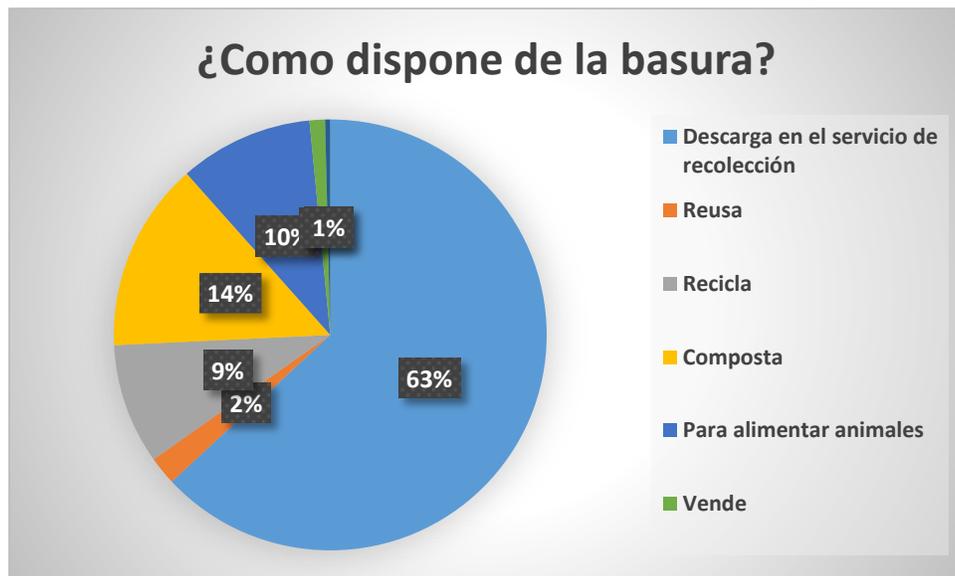
*Fuente: Propia*

Del estudio realizado se concluye que la mayoría de personas separan 2 tipos de residuos que vienen siendo importantes como lo es orgánico e inorgánicos con un 56% de los habitantes. Siendo como segundo con un 25% el residuo sanitario.



*Fuente: Propia*

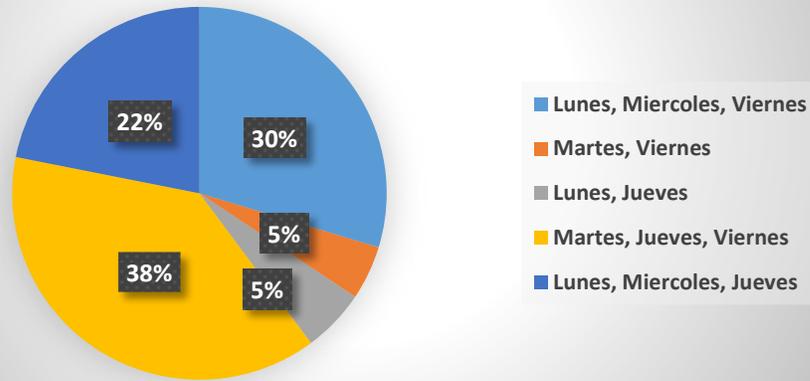
En esta grafica nos muestra que el 29% no tiene tiempo para realizar el respectivo separado siendo un problema porque al momento de querer realizar separación de los residuos en el hogar es un trabajo de muy poco tiempo y fácil. Lo cual también es importante realizar una sensibilización.



*Fuente: Propia*

Se evidencia que el porcentaje mayor es el 63% que vale por alimento para animales esto es muy común en el municipio ya que la mayoría tiene sus espacios grandes en las viviendas lo que les facilita tener sus animales o estos son llevados a las fincas.

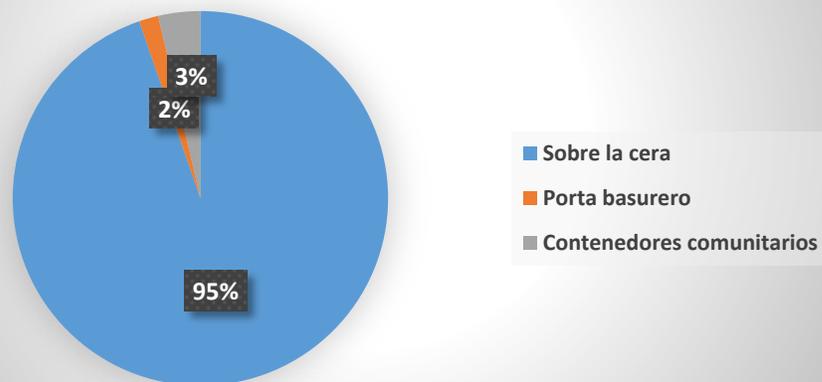
## ¿Cuál es la frecuencia del servicio de recolección?



Fuente: Propia

Esta frecuencia varía según las rutas del vehículo recolector y del barrio a que cada vivienda pertenece por ende es variada.

## ¿Donde ubica la basura para que se la lleve el servicio de recolección?



Fuente: Propia

Se puede observar que la mayoría de habitantes ubica su basura sobre la acera siendo este un trabajo más fácil tanto el usuario como para los recolectores de basura.

### ***Anexo B***

#### ***Informe caracterización de residuos solidos***



INFORME  
CARACTERIZACIÓN 2

### ***Anexo C***

#### ***Guia Lombricompost***



GUIA  
LOMBRICOMPOST 2