

**Tratamiento de Heces y Camas de Equinos por Medio del Proceso de Compostaje Como  
Medida de Aprovechamiento de Residuos Orgánicos – Caso de Estudio Grupo de  
Carabineros - Cali**

**Daniel Fernando Valencia Maluche**

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD**

**Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente**

**Programa de Ingeniería Ambiental**

**Santiago de Cali**

**2019**

**Tratamiento de Heces y Camas de Equinos por Medio del Proceso de Compostaje Como  
Medida de Aprovechamiento de Residuos Orgánicos – Caso de Estudio Grupo de  
Carabineros - Cali**

**Daniel Fernando Valencia Maluche**

**Código: 93404192**

**Asesor: Julián Eduardo Mejía Ballesteros**

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD**

**Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente**

**Programa de Ingeniería Ambiental**

**Santiago de Cali**

**2019**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

**Aprobación Fecha**

---

---

**Firma del Presidente del Jurado**

---

**Firma del Orientador**

## CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>20</b>
<b>2. JUSTIFICACION .....</b>	<b>23</b>
<b>3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>24</b>
<b>4. OBJETIVOS.....</b>	<b>26</b>
<b>4.1 Objetivo General .....</b>	<b>26</b>
<b>4.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>26</b>
<b>5. MARCO CONCEPTUAL Y MARCO TEORICO .....</b>	<b>27</b>
<b>5.1 Marco Teórico .....</b>	<b>27</b>
<b>5.1.1 Economía del Municipio de Cali .....</b>	<b>27</b>
<b>5.2 Equinos.....</b>	<b>27</b>
<b>5.3 Residuos Solidos .....</b>	<b>30</b>
<b>5.3.1. Residuos Sólidos Urbanos.....</b>	<b>30</b>
<b>5.3.2 Residuos Sólidos Industriales.....</b>	<b>31</b>
<b>5.3.2.1 Inertes: .....</b>	<b>31</b>
<b>5.3.2.2 Residuos Peligrosos .....</b>	<b>31</b>
<b>5.3.2.3 Residuos Agrarios: .....</b>	<b>31</b>
<b>5.3.2.4 Residuos Médicos y de Laboratorios: .....</b>	<b>31</b>
<b>5.3.2.5 Residuos Radioactivos: .....</b>	<b>32</b>
<b>5.3.2.6 Residuos Tipo Estiércol: .....</b>	<b>32</b>

<b>5.4 Gestión Integral de Residuos Sólidos .....</b>	<b>33</b>
<b>5.5 Lixiviados .....</b>	<b>35</b>
<b>5.5.1 Técnicas y Métodos para el Tratamiento de Lixiviados .....</b>	<b>36</b>
<b>5.5.1.1 Enfoque de Tratamiento por Procesos Físico - Químicos .....</b>	<b>38</b>
<b>5.5.1.2 Enfoque de Tratamiento por Procesos Biológicos.....</b>	<b>39</b>
<b>5.5.1.3 Enfoque de Tratamiento por Sistemas Naturales .....</b>	<b>39</b>
<b>5.5.1.4 Enfoque de Tratamiento por Sistemas de Membranas .....</b>	<b>40</b>
<b>5.5.1.5 Enfoque de Tratamiento por Recirculación .....</b>	<b>40</b>
<b>5.6 Compostaje .....</b>	<b>41</b>
<b>5.6.1 Tipos de Compostaje.....</b>	<b>42</b>
<b>5.6.1.1 Compostaje Aeróbico.....</b>	<b>42</b>
<b>5.6.2 Sistemas de Compostaje .....</b>	<b>43</b>
<b>5.6.2.1 Sistemas Cerrados.....</b>	<b>43</b>
<b>5.6.2.2 Sistemas Verticales o Continuos .....</b>	<b>44</b>
<b>5.6.2.3 Sistemas Horizontales o Discontinuos .....</b>	<b>44</b>
<b>5.6.2.4 Sistemas Abiertos .....</b>	<b>44</b>
<b>5.6.2.4.1 .Compostaje en Hilera o Apilamiento con Volteo: .....</b>	<b>45</b>
<b>5.6.2.4.2 Pila Estática Aireada o Apilamiento Estático: .....</b>	<b>45</b>
<b>5.6.3 Materiales Compostables.....</b>	<b>46</b>
<b>5.6.3.1 Materias Primas Enriquecedoras .....</b>	<b>47</b>

5.6.3.2 Materias Primas Activadoras.....	48
5.6.3.3 Materias Primas no Utilizables .....	48
5.6.3.4 Materias Primas Comunes .....	49
5.6.4 Fases del Proceso de Compostaje Aeróbico .....	49
5.6.4.1 Fase Mesófila .....	49
5.6.4.2 Fase Termófila.....	50
5.6.4.3 Fase de Maduración.....	51
5.6.5 Monitoreo Durante el Compostaje .....	52
5.6.5.1 Temperatura.....	53
5.6.5.2 Aireación.....	53
5.6.5.3 Humedad.....	53
5.6.5.4 pH .....	53
5.7 Marco Legal.....	55
6. METODOLOGIA .....	59
6.1 Descripción del Área de Estudio .....	59
6.1.1 Localización .....	59
6.1.2 Geografía.....	60
6.1.3 Clima .....	60
6.1.4 Grupo de Carabineros y Guías Caninos Cali .....	60
6.1.5 Descripción Locativa del Grupo de Carabineros y Guías Caninos .....	62

<b>6.2 Métodos Propuestos Para el Manejo de los Residuos Sólidos Orgánicos .....</b>	<b>64</b>
<b>6.3 Caracterización de los Residuos Sólidos para el Compostaje .....</b>	<b>65</b>
<b>6.3.1 Tipo de Compostaje .....</b>	<b>66</b>
<b>6.3.2 Sistema de Compostaje .....</b>	<b>66</b>
<b>6.4 Fases del Proceso de Compostaje.....</b>	<b>67</b>
<b>6.4.1 Fase Mesófila .....</b>	<b>67</b>
<b>6.4.2 Fase Termófila – Mesófila .....</b>	<b>68</b>
<b>6.4.3 Fase de Maduración .....</b>	<b>69</b>
<b>6.5 Tratamiento Lixiviado .....</b>	<b>70</b>
<b>6.6 Materiales Utilizados .....</b>	<b>71</b>
<b>7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....</b>	<b>73</b>
<b>8. RESULTADOS.....</b>	<b>74</b>
<b>8.1 Inicio Fase Mesófila.....</b>	<b>74</b>
<b>8.2 Inicio Fase Termófila – Mesófila .....</b>	<b>78</b>
<b>8.3 Inicio Fase de Maduración .....</b>	<b>91</b>
<b>9. RECURSOS NECESARIOS .....</b>	<b>104</b>
<b>10. ANALISIS DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>105</b>
<b>11. CONCLUSIONES.....</b>	<b>112</b>
<b>12. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>114</b>
<b>13. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>115</b>

<b>14. GLOSARIO .....</b>	<b>119</b>
---------------------------	------------



## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Legislación ambiental nacional e internacional .....	55
<b>Tabla 2.</b> Localización Grupo de Carabineros.....	61
<b>Tabla 3.</b> Ingredientes del compost.....	65
<b>Tabla 4.</b> Caracterización agroquímica del estiércol de caballo .....	65
<b>Tabla 20.</b> Cronograma de actividades .....	73
<b>Tabla 5.</b> Resultados obtenidos día 1 .....	76
<b>Tabla 6.</b> Resultados obtenidos día 2.....	77
<b>Tabla 7.</b> Resultados obtenidos día 4.....	78
<b>Tabla 8.</b> Resultados obtenidos día 7 .....	80
<b>Tabla 9.</b> Resultados obtenidos día 12.....	82
<b>Tabla 10.</b> Resultados día 16 .....	84
<b>Tabla 11.</b> Resultados obtenido día 20 .....	86
<b>Tabla 12.</b> Resultados obtenidos día 24.....	88
<b>Tabla 13.</b> Resultados obtenidos día 27.....	91
<b>Tabla 14.</b> Resultados obtenidos día 30.....	94
<b>Tabla 15.</b> Tabla de resultados día 33.....	96
<b>Tabla 16.</b> Resultados obtenidos día 36.....	97
<b>Tabla 17.</b> Resultados obtenidos día 39.....	99
<b>Tabla 18.</b> Resultados obtenidos día 42.....	100
<b>Tabla 19.</b> Resultados obtenidos día 45.....	101
<b>Tabla 21.</b> Recursos necesarios .....	104
<b>Tabla 22.</b> Resultados Obtenidos.....	110

## LISTA DE IMAGENES

<b>Imagen 1.</b> Ubicación Comuna 20 Siloe, Cali - Valle del Cauca. ....	59
<b>Imagen 2.</b> Equinos Grupo de Carabineros.....	61
<b>Imagen 3.</b> Ubicación Grupo de Carabineros y Guías Caninos Cali .....	62
<b>Imagen 4.</b> Entrada Grupo de Carabineros y Guías Caninos.....	62
<b>Imagen 5.</b> Pesebreras.....	63
<b>Imagen 6.</b> Material utilizado para las camas (aserrín y cascarilla de arroz). ....	63
<b>Imagen 7.</b> Material a compostar proveniente de las pesebreras (cascarilla de arroz, aserrín,. 64	
<b>Imagen 8.</b> Sitio destinado para la disposición final de los residuos de las pesebreras. ....	64
<b>Imagen 9.</b> Sistema de compostaje por hileras .....	67
<b>Imagen 10.</b> Materiales utilizados .....	71
<b>Imagen 11.</b> Cintas de medición de pH .....	72
<b>Imagen 12.</b> Adecuación compostera .....	74
<b>Imagen 13.</b> Almacenamiento por hileras día 1.....	75
<b>Imagen 14.</b> Medición pH día 1 .....	75
<b>Imagen 15.</b> Medición temperatura día 1.....	76
<b>Imagen 16.</b> Medición humedad día 1 .....	76
<b>Imagen 17.</b> Adición agua miel día 2 .....	77
<b>Imagen 18.</b> Volteo manual de la hilera día 4.....	78
<b>Imagen 19.</b> Volteo manual hilera material a compostar día 7.....	79
<b>Imagen 20.</b> Prueba de humedad y pH día 7.....	80
<b>Imagen 21.</b> Volteo hilera compostaje día 12.....	81
<b>Imagen 22.</b> Prueba humedad día 12 .....	81

<b>Imagen 23.</b> Prueba de pH día 12 .....	82
<b>Imagen 24.</b> Volteo hilera día 16 .....	83
<b>Imagen 25.</b> Prueba humedad día 16. ....	83
<b>Imagen 26.</b> Prueba de pH día 16 .....	84
<b>Imagen 27.</b> Volteo hilera por traspaleo .....	84
<b>Imagen 28.</b> Toma pH día 20.....	85
<b>Imagen 29.</b> Muestra medición humedad día 20 .....	85
<b>Imagen 30.</b> Presencia de cien pies.....	86
<b>Imagen 31.</b> Volteo material a compostar día 24.....	87
<b>Imagen 32.</b> Toma de temperatura y humedad día 24 .....	87
<b>Imagen 33.</b> Toma muestra pH día 24 .....	88
<b>Imagen 34.</b> Presencia vegetación día 24 .....	88
<b>Imagen 35.</b> Toma muestra humedad día 27 .....	89
<b>Imagen 36.</b> Volteo hilera día 27 .....	90
<b>Imagen 37.</b> Toma muestra pH día 27 .....	90
<b>Imagen 38.</b> Adición de agua miel día 27.....	91
<b>Imagen 39.</b> Crecimiento vegetación día 30.....	92
<b>Imagen 40.</b> Medición temperatura día 30.....	92
<b>Imagen 41.</b> Muestra medición humedad día 30 .....	93
<b>Imagen 42.</b> Muestra medición pH día 30. ....	93
<b>Imagen 43.</b> Volteo manual hilera compostaje día 30. ....	94
<b>Imagen 44.</b> Resultados medición temperatura día 33. ....	95
<b>Imagen 45.</b> Volteo manual material compostable día 33. ....	95

<b>Imagen 46.</b> Medición humedad día 33.....	95
<b>Imagen 47.</b> Crecimiento material vegetal día 36.....	96
<b>Imagen 48.</b> Medición temperatura y humedad día 36.....	97
<b>Imagen 49.</b> Volteo manual material a compostar día 36.....	97
<b>Imagen 50.</b> Medición temperatura día 39.....	98
<b>Imagen 51.</b> Prueba de humedad día 39. ....	98
<b>Imagen 52.</b> Volteo manual material a compostar día 39.....	99
<b>Imagen 53.</b> Medición temperatura día 42.....	99
<b>Imagen 54.</b> Prueba de humedad día 42. ....	100
<b>Imagen 55.</b> Volteo manual hilera día 42. ....	100
<b>Imagen 56.</b> Toma Temperatura día 45. ....	101
<b>Imagen 57.</b> Tomas muestra humedad día 45.....	102
<b>Imagen 58.</b> Empaquetada del compost orgánico.....	102
<b>Imagen 59.</b> Almacenamiento y pesaje compost. ....	103
<b>Imagen 60.</b> Disminución volumen material compostado.....	105
<b>Imagen 61.</b> Transformación material compostado.....	108
<b>Imagen 62.</b> Siembra de árboles, aprovechamiento compost.....	109
<b>Imagen 63.</b> Adecuación nuevo sitio para compostera.....	109

## LISTA DE GRAFICAS

**Grafica 1.** Variación de la temperatura durante el proceso de compostaje..... 106

**Grafica 2.** Variación del pH proceso de compostaje..... 107

## **DEDICATORIA**

Lograr alcanzar este título, representa uno de los momentos más importantes en mi vida profesional, dedicárselo al todo poderoso que siempre ha estado ahí en los momentos difíciles y satisfactorios, a mi madre por ser quien desde el hogar forjo en mí una persona con buenos cimientos en mi educación y quien además siempre me ha apoyado en la toma de decisiones que al transcurso de los años he tenido que tomar, de quien solo he recibido voces de aliento para seguir adelante, a mi familia, mi compañera e hija, quienes han sido una fuente de energía para salir adelante en aquellos momentos en donde se pierden las ganas de cumplir con las metas propuestas.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco primero que todo a Dios, quien es el que ha brindado la fortaleza para cumplir con todos los objetivos que me propuesto, tanto en mi vida personal como profesional.

A mi familia quienes me han apoyado en todas los momentos difíciles que se han presentado y me han motivado a que termine mis estudios.

A mis tutores que sin ellos no fuese posible alcanzar este logro tan importante en mi desempeño profesional, mil gracias a todos.

## RESUMEN

Este proyecto aplicado, se encuentra encaminado en la investigación y recolección de información, que tiene como fin primordial realizar tratamiento de heces y camas de equinos por medio del proceso de compostaje como medida de aprovechamiento de residuos orgánicos, caso estudio Grupo de Carabineros Cali. Otra problemática que se presenta, es el exceso de residuos sólidos orgánicos, la generación de líquidos percolados, los cuales no están siendo tratados y son expuestos directamente al suelo.

Este proyecto fue implementado durante 45 días, dentro de los cuales se desarrollaron tres fases, inicialmente en la fase mesófila alcanzo una duración de dos días, en la fase termófila se implementó durante 28 días y la fase final de maduración se desarrolló durante 15 días, en donde finalmente se logró obtener un producto higienizado, con un color marrón oscuro y una textura homogénea de pequeños gránulos. Con respecto a los lixiviados que se generaban, al implementar el proyecto estos líquidos percolados se redujeron.

Durante la ejecución del proyecto fue necesario adecuar un espacio de 7 m X 7 m, con unas condiciones de inclinación, que permitieran recoger los lixiviados. Se recolectaron mediante la implementación de hileras 840 kg de materia orgánica, compuesta de aserrín, cascarilla de arroz, heno, heces equinas y orina; durante el proceso fue necesario recolectar datos importantes que permitieron reconocer los cambios presentados dentro del proceso, como fue medir la temperatura, tomar la acidez, la humedad y realizar volteos continuos para mejorar la aireación de la hilera. Con estos controles se garantiza obtener un producto que favorece los nutrientes de los suelos.



Una vez finalizado el proceso de transformación de la materia orgánica en compostaje, se obtuvieron resultados que demuestran que el proyecto contribuyó a mejorar con lo propuesto, teniendo en cuenta que se alcanzó la reducción del volumen de la hilera, en un 50% aproximadamente; se redujo la cantidad de lixiviados que se generaban y los pocos generados fueron absorbidos directamente por el suelo, con resultados exitosos ya que se presentó crecimiento de pasturajes, se disminuyeron los olores y la presencia de insectos.

Palabras Claves: Equinos, pesebreras, lixiviados, contaminación, fases.

## **ABSTRACT**

This applied project is aimed at research and information collection, whose main purpose is to perform treatment of feces and beds of horses through the composting process as a measure of use of organic waste, case study Group of Carabineros Cali. Another problem that arises is the excess of solid organic waste, the generation of percolated liquids, which are not being treated and are directly exposed to the soil.

This project was implemented for 45 days, within which three phases were developed, initially in the mesophilic phase it lasted two days, in the thermophilic phase it was implemented for 28 days and the final maturation phase was developed for 15 days, where finally it was possible to obtain a sanitized product, with a dark brown color and a homogeneous texture of small granules. With respect to the leachates that were generated, when implementing the project, these percolated liquids were reduced.

During the execution of the project it was necessary to adapt a space of 7 m X 7 m, with some inclination conditions, that allowed to collect the leachate. 840 kg of organic matter, consisting of sawdust, rice husk, hay, horse feces and urine, were collected through the implementation of rows. During the process it was necessary to collect important data that allowed us to recognize the changes presented within the process, such as measuring the temperature, taking acidity, humidity and making continuous turns to improve the aeration of the row. With these controls it is guaranteed to obtain a product that favors soil nutrients.

Once the process of transformation of organic matter into composting was completed, results were obtained that demonstrate that the project contributed to improve with the proposal, taking into account that the reduction in row volume was achieved, by approximately 50%; the amount

of leachate that was generated was reduced and the few generated were directly absorbed by the soil, with successful results since pasture growth occurred, odors and the presence of insects were reduced.

Keywords: Equine, mangers, leachate, pollution, phases.

## 1. INTRODUCCIÒN

Teniendo en cuenta las políticas de seguridad ciudadana, la Policía Nacional en pro de mejorar el servicio de seguridad en todos los sectores rurales del país, realizó la adquisición de semovientes equinos, este compromiso conlleva a que el Grupo de Carabinero de Cali, adecuara sus instalaciones, para garantizar la tenencia responsable de los semovientes y dar un manejo adecuado a los residuos sólidos orgánicos que estos generan.

El planteamiento de la presente propuesta surge a partir del compromiso ambiental de un estudiante de ingeniería ambiental, pero a la vez miembro activo del Grupo de Carabineros de la Policía Nacional, quien encontró una problemática alrededor de la disposición final que se realiza de los residuos sólidos producto de los excrementos y lixiviados de los 50 semovientes equinos que posee actualmente el Grupo de la ciudad de Cali.

En Colombia la contaminación por gases contaminantes, según el informe de la calidad del aire publicado en el año 2018, permite definir cuáles son las regiones del país que poseen problemas de contaminación atmosférica, en donde es posible destacar a la ciudad de Cali como una de ellas, en donde los rellenos sanitarios se destacan como fuentes de Metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) y compuestos orgánicos volátiles (COV); teniendo en cuenta que cerca de la ciudad se encuentran el relleno sanitario de navarro (fuera de servicio), pese a estar fuera de servicio a un se evidencian las consecuencias ambientales y sociales; el relleno sanitario regional Colomba – el Guabal, ubicado en Yotoco (Valle), mencionados sitios a la fecha a un se encuentra generando gases de efecto invernadero, estos gases tienen una influencia importante sobre el calentamiento global, (Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, 2009). Así mismo se registran niveles superiores a los permitidos en la resolución 2254 del 01/11/2017, del

Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, dentro de la ciudad de Cali, en cuanto al material particulado ( $PM_{10}$ ) promedio móvil 24 horas,  $PM_{2.5}$  promedio móvil 24 horas, generadas mayormente por las fuentes móviles (vehículos, motos) e industriales, (Observatorio MOVIS 2012). Todo esto de manera conjunta, ocasiona un impacto ambiental negativo muy destacable dentro de la calidad del aire en la ciudad.

La emisión de contaminantes  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  y el ozono troposférico son originados a partir de los lugares de disposición final de los residuos sólidos y los mismos también se encuentran asociados a la producción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), Metano ( $CH_4$ ) y dióxido de Carbono ( $CO_2$ ); todo como resultado de la descomposición natural de los residuos sólidos orgánicos, por medio de reacciones químicas y biológicas específicas.

En este orden de ideas, los residuos de las pesebreras (heces equinas, orina, cascarilla de arroz, heno, aserrín y restos de pasto) generados por el manejo de los caballos, al no recibir una disposición final adecuada, dan origen a gases contaminantes  $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $O_3$ , COV y malos olores. Teniendo en cuenta el informe técnico sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2007), los principales GEI son el vapor de agua ( $H_2O$ ), el dióxido de Carbono ( $CO_2$ ), el Metano ( $CH_4$ ), el dióxido nitroso ( $N_2O$ ) y el Ozono ( $O_3$ ); considerando estas circunstancias, se destaca que para reducir su producción se hace importante implementar un sistema de tratamiento y aprovechamiento oportuno y adecuado de los residuos generados.

Teniendo en cuenta la normatividad vigente para el manejo de los residuos sólidos orgánicos y en vista de la importancia del control y la buena disposición de los mismos, decide implementar un sistema de compostaje orgánico como medida de control de gases y mitigación para reducir el impacto ambiental generado por los contaminantes atmosféricos producidos,

como resultado de los residuos orgánicos recolectados y almacenados de las camas de las pesebreras presentes en sus instalaciones; dicho compost a su vez podrá ser aprovechado en el mejoramiento de la calidad de los suelos, permitiendo un mayor rendimiento productivo de los cultivos.

Este proceso fue desarrollado en tres fases, una vez recolectado y almacenado adecuadamente los residuos orgánicos generados en las camas de los equinos (aserrín, cascarilla de arroz, heno, orina y heces equinas), se da inicio a la fase mesófila, que busca el aireamiento de las pilas y elevar la temperatura para favorecer el trabajo de los microorganismos, en la segunda fase denominada termófila, el producto debe ser seguro para las personas y debe ser aprovechable, se realiza el control de patógenos presentes en el material a compostar y se busca disminuir los costos. Finalmente, en la tercera fase se presenta la maduración. Se busca la refinación y estabilización a temperatura ambiente del compostaje.

Para obtener un compostaje totalmente aprovechable este proceso debe contar con un tiempo no menor a 45 días, con este tiempo se pueden alcanzar los resultados esperados, que son el control de emisiones contaminantes, la transformación y el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos.

De esta manera, se destaca la potencialidad de la aplicación del compostaje orgánico dentro de las instalaciones del Grupo de Carabineros de Cali, para controlar, prevenir y minimizar los impactos negativos que se generan por el manejo y disposición final de los residuos orgánicos generados del manejo de los caballos, mejorando la calidad del aire y realizado un aporte significativo en el entorno de los residentes del sector.

## 2. JUSTIFICACION

La finalidad de esta propuesta es implementar alternativas técnicas que contribuyan a disminuir los contaminantes atmosféricos, que se vienen generando por la generación de residuos sólidos y líquidos que se producen por la limpieza de las 50 pesebreras que se tienen para la tenencia de los semovientes. Teniendo en cuenta que los excrementos y orina de los semovientes equinos contienen altos contenidos de Amoniac, dióxido de Carbono, Metano, óxido nitroso, los cuales en su lugar de disposición final se encuentran expuestos a altas temperaturas, son producidos una serie de gases, que inclusive muchas veces alcanzan a generar llamas dentro de la pila de almacenamiento, debido a los diferentes compuestos químicos que se mezclan. Por otro lado, como resultado de esta situación, también se destaca la generación de malos olores y condiciones favorables a la presencia de insectos y otros vectores.

Por tal razón, la presente propuesta busca realizar un aprovechamiento de estos residuos a través de la realización de un compostaje, el cual busca contribuir a la reducción de agentes contaminantes atmosféricos que permitan reducir la emisión de gases contaminantes, proporcionando espacios sanos, limpios y seguros de olores desagradables e insectos.

Durante el proceso de compostaje, el material puede perder el 50% de su volumen, por lo anterior se puede afirmar que se reducirá la cantidad de material aproximadamente a la mitad. Una parte de este compost servirá para abonar los cultivos de pasto de corte de la unidad, otra parte del producto será donado a las personas que lideran proyectos productivos, especialmente aquellos campesinos que se encuentran vinculados al programa de restitución de tierras de la Presidencia de la República.

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Policía Nacional dentro de su despliegue para satisfacer la necesidad de mejorar la seguridad y convivencia ciudadana en el sector rural colombiano, desde hace más de 50 años vio la necesidad de crear el Grupo de Carabineros y Guías Caninos, lo que les llevo a la adquisición para el cumplimiento de sus labores policiales de un gran número de semovientes equinos, los cuales fueron asignados a las diferentes ciudades del país. Estas unidades de Carabineros cuentan con unas pesebreras cuyas especificaciones locativas definidas, de en las cuales pasan alrededor de 14 horas al día, siendo un espacio no solo para su descanso, sino también el lugar donde realizan sus necesidades fisiológicas.

En cuanto a la higiene de estos espacios, se realiza día de por medio la respectiva limpieza, actividad realizada por el personal de Carabineros, en donde se recogen las heces equinas y se hace el cambio de la cascarilla de arroz y aserrín que se encuentra húmeda por causa de los orines, y es almacenada.

Según el manejo ecológico de los suelos, (Brechelt, 2004), estudios internacionales demuestran que los caballos pueden llegar a producir 22 veces su propio peso en estiércos al año, teniendo en cuenta estos datos y el tiempo estimado que los equinos pasan en estabulación, la cantidad de residuos sólidos recolectados durante las labores de limpieza de las pesebreras es elevado, por una parte algunos equinos realizan sus necesidades fisiológicas con más frecuencia que otros, por lo anterior expuesto y teniendo en cuenta que la materia prima recolectada está compuesta por (heces equinas, cascarilla de arroz, aserrín, orina, restos de heno y pasto), hace que el material a compostar sea gigantesco.



Los residuos generados son transportados en carretillas hasta una pila ubicada en la parte alta cerca de un pabellón de pesebreras y almacenados a cielo abierto. Esta inadecuada disposición de los residuos, unida a factores ambientales tales como: las altas temperaturas que se presentan en la ciudad y lluvias ocasionales, generan junto con el alto contenido de amoníaco, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, que componen los excrementos y la orina de los equinos, gases que contribuyen a la contaminación atmosférica, la cual se está viendo reflejada en el calentamiento global, la contaminación de los recursos hídricos por microorganismos patógenos presentes en las excretas, así como los malos olores que afectan la calidad de vida de la población, que viene ocurriendo en los últimos años.

Considerando lo anterior, se propone el aprovechamiento y el manejo adecuado de los residuos sólidos producto de los excrementos y lixiviados que generan los semovientes equinos, a través de la realización de un proceso de compostaje, considerando la recolección día de por medio de materia prima y que durante el proceso de maduración la pila de material a compostar puede perder el 50% de su volumen, Manual de Compostaje del Agricultor (FAO, 2013),

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 Objetivo General

Realizar tratamiento de heces y camas de equinos por medio del proceso de compostaje como medida de aprovechamiento de residuos orgánicos, caso estudio Grupo de Carabineros Cali.

### 4.2 Objetivos Específicos

- Implementar un proceso de almacenamiento de los residuos sólidos orgánicos adecuado a las necesidades del contexto del Grupo de Carabineros de la ciudad de Cali, con la finalidad de transformar los residuos sólidos en un compost orgánico.
- Disminuir la producción de lixiviados que se generan por el inadecuado almacenamiento de los residuos sólidos orgánicos (heces equinas) y los pocos generados transformarlos en fertilizante líquido.
- Implementar un proceso para la transformación de los residuos sólidos orgánicos a compostaje orgánico, reflejado cada cuarenta y cinco días siguientes a su almacenamiento.

## **5. MARCO CONCEPTUAL Y MARCO TEORICO**

### **5.1 Marco Teórico**

#### **5.1.1 Economía del Municipio de Cali**

Teniendo en cuenta el Indicador Mensual de Actividad Económica para Santiago de Cali IMAE (2019), la economía de la ciudad creció gracias a tres grandes sectores, la industria, la actividad micro empresarial y el sector financiero, otros sectores económicos a tener en cuenta son el sector comercio constituido en su mayoría por grandes centros comerciales, los cuales cuentan con grandes salas de cine, restaurantes y supermercados, también dentro de la ciudad se pueden encontrar pequeños centros comerciales los cuales se encuentran ubicados por toda la ciudad; el sector de la construcción apunta a la economía de Cali, gracias a la puesta en marcha de grandes obras ha permitido el desarrollo comercial de la ciudad y han generado gran cantidad de empleos, cámara de comercio de Cali (Enfoque Competitivo, 2019).

#### **5.2 Equinos**

Alarcón Gil (2013), manifiesta que los caballos tienen sus orígenes en América, en donde se conoce que el primer caballo poseía la estatura de un perro de raza Fox Terrier y que estos existieron hace más de 55 millones de años. A estos equinos se les llamo Eohippus y las pruebas de que existieron fueron obtenidas por paleontólogos a partir de fósiles, los cuales realizaron sus hallazgos en la zona sur de los Estados Unidos. Los miembros anteriores estaban conformados por cuatro dedos y su dientes eran iguales a la de un roedor, lo que los hacia no aptos para que se alimentaran de pastos; su espalda de forma arqueada y su cabeza era muy pequeña.

Posteriormente surge el equino conocido como Mesohippus, el cual poseía un tamaño un poco

más grande al Eohippus, contaban con tres dedos en sus miembros anteriores, eran de mayor progreso del central que de los laterales, existió aproximadamente hace 26 millones de años.

Por otra parte Bohórquez (1946) indica que, los caballos tuvieron su origen en América del Norte y desde estos lugares se expandieron por Canadá hacia Europa. En América hacia la era cuaternaria, antes del surgimiento del hombre, los caballos desaparecen en gran razón a las bajas temperaturas, la presencia de enfermedades y por la disminución en la fertilidad.

Teniendo en cuenta el punto de vista del paleontólogo (Rivals, 2011), de la institución Catalana de Investigación y Estudios Avanzados (ICREA), hace aproximadamente 55 millones de años los campos de América del Norte eran selvas tropicales, los caballos poseían un solo dedo y su dentadura era redondeada, la cual era adaptada para alimentarse de la vegetación blanda; pasados quince millones de años las selvas tropicales se transforman en bosques fríos, lo que conllevó a que la dentadura de los caballos se hiciera con aristas cortantes y relieves.

Asimismo, Alarcón Gil (2013), establece que la domesticación del caballo, según se entiende, fue realizada por los pueblos que se ubicaban a los costados del mar Caspio, esto sucedió hace unos 5000 a 6000 años aproximadamente; inicialmente estos pueblos los utilizaban a manera de fuente de proteína para el consumo de carne y la piel era aprovechada en la manufactura, pero al trascurrir del tiempo estos fueron transformándose para uso de transporte. Una vez domesticado el caballo, desde el oriente medio es transportado a África por el mediterráneo y a Europa llegan los caballos gracias a los invasores, entre los que encontramos los árabes y germanos. La presencia de los caballos a América se produjo gracias a los conquistadores españoles, en el segundo viaje que realizó Cristóbal Colón a América.

Bravo Duque (2001), considera que los caballos eran animales de andar lateral, descendían de los caballos Berberisco Africanos, los cuales hacían cuatro tiempos laterales en su andar y caballos de trote y galope, estos probablemente de origen Celta-Berberisco, los cuales sirvieron de pajilla para obtener importantes razas de América del sur, entre las cuales se pueden mencionar por su orden de antigüedad, el caballo español y el caballo árabe.

Fue en Colombia hacia el año 1509, por donde ingresaron los primeros caballos reproducidos en las Antillas, los cuales fueron introducidos en la expedición de los señores Alonso de Ojeda y Diego de Nicuesa, hacia el año de 1538 durante la expedición de Gonzalo Jiménez de Quesada ingresaron una gran cantidad de equinos, con las características autóctonas del caballo criollo Colombiano (Ángel, 2010).

En Colombia existen cuatro modalidades de paso que son: De paso fino, la de trote y galope, la de trocha sola y la de trocha y galope. Ahora bien, los caballos son animales vivíparos herbívoros, de reproducción sexual, los cuales llegan a alcanzar su pubertad alrededor de los 24 a 36 meses de edad, período en el cual tanto el macho como la yegua alcanzan a llegar a aparearse, siendo recomendable realizar la monta a partir de los cuatro años de edad, cuando ya han desarrollado todas sus capacidades sexuales y a los cinco años en yeguas cuando su etapa de osificación se encuentra completamente terminada. Normalmente las yeguas pueden llegar a tener de una a dos crías, después de sus once meses de gestación, y en su vida reproductiva pueden llegar a tener de cinco a seis partos.

Para Bravo Duque (2001), la vida del caballo se encuentra estimada entre los quince a veinte años. El caballo tiene un crecimiento rápido y al cumplir un año de edad llegan a alcanzar su talla máxima. Puede coexistir en casi todo tipo de climas con gran capacidad de adaptación, exceptuado a los polos, donde la temperatura es baja. Durante su evolución los equinos han

desarrollado patas y remos altamente especializados, los cuales les han servido para alcanzar altas velocidades, se ha reducido la cantidad de huesos de sus extremidades, con el fin de que su punto de apoyo sean los extremos de cuatro dedos, se ha presentado el desvanecimiento de unos músculos, los cuales estaban situados debajo de la rodilla y el corvejón.

Las excretas de los equinos poseen varias propiedades específicas, las cuales las hacen atractivas para ser aprovechadas en la agricultura, destacando su riqueza en el contenido de celulosa, su contenido moderado de nitrógeno, la eliminación de algunas bacterias perjudiciales, evita que crezcan malas hierbas y mejora la estructura de los suelos (Tortosa, 2015). Pero al no realizar un control en el almacenamiento, disposición final o en su aplicación, provoca impactos ambientales negativos, debido a los gases contaminantes emitidos a la atmosfera, la alta carga de materia orgánica y nutrientes a los cuerpos hídricos (Pinos, 2012).

### **5.3 Residuos Sólidos**

Teniendo en cuenta el decreto 1713 del 2002 en relación con la Gestión Integral de Residuos, se denomina residuo sólido a todo tipo de material, orgánico o inorgánico de naturaleza maciza, que ha sido generado en las distintas actividades productivas y que han sido desechados después de utilizar su parte vital, varios de ellos pueden ser utilizados para el aprovechamiento o su transformación, siendo reincorporado al ciclo económico. Los residuos sólidos se pueden clasificar según su origen y encontramos los siguientes tipos:

#### **5.3.1. Residuos Sólidos Urbanos**

Se denomina a todos los materiales sólidos, su origen puede ser orgánico e inorgánico, se consideran como basura, estos residuos no tienen utilidad práctica después de haber sido fabricados y utilizados, estos residuos son generados por las actividades domésticas, industriales

y comerciales, (Guía de Planeación Estratégica para el Manejo de residuos Sólidos de Pequeños Municipios en Colombia, 2017).

### **5.3.2 Residuos Sólidos Industriales**

Según la guía para la Gestión de Residuos en la Empresa (2007), los residuos industriales son todos aquellos residuos que se generan dentro de la actividad industrial, procedentes por la explotación, extracción, producción, transformación y distribución, en donde se pueden diferenciar diferentes tipos de residuos industriales entre los que se pueden mencionar:

**5.3.2.1 Inertes:** Son materiales no peligrosos para el medio ambiente, como los escombros y materiales similares, aunque algunos materiales que proceden de la minería y pueden tener presentar elementos tóxicos. Similares a residuos sólidos urbanos, partes de comedores, oficinas, etc (Gestión de Residuos en la Empresa, 2007).

**5.3.2.2 Residuos Peligrosos:** Son todas aquellas sustancias y objetos que se generan en las actividades físicas, biológicas o químicas, que lleguen a generar un riesgo a la salud humana o afectación del medio ambiente (Gestión de Residuos en la Empresa, 2007).

**5.3.2.3 Residuos Agrarios:** Son todos aquellos residuos sólidos, que tienen como origen, las actividades desarrolladas en la agricultura, la ganadería, la pesca, el aprovechamiento forestales o la obtención alimentaria (FAO, Manual de Usuario de Residuos Agrícolas y Residuos Ganaderos, 2014).

**5.3.2.4 Residuos Médicos y de Laboratorios:** Son todas aquellas sustancias y materiales sólidos, líquidos o gaseosos generadas del trabajo realizado en los centros clínicos o de investigación, que pueden tener efectos sobre la salud humana y sobre el medio ambiente,

asimismo están clasificados como residuos peligrosos (Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios [MPGIRH], 2014).

**5.3.2.5 Residuos Radioactivos:** Estos residuos son aquellos que contienen características infecciosas, inflamables, reactivas, volátiles y corrosivas, sus recipientes o empaques que han estado en contacto, además tienen efectos perjudiciales para la salud y afectan el medio ambiente (MPGIRH, 2014).

**5.3.2.6 Residuos Tipo Estiércol:** Son residuos generados por animales compuestos por heces y orina, son materiales con abundante materia orgánica, Nitrógeno, Fosforo y Potasio, los cuales son utilizados para fertilizar los suelos, contribuyen a mejorar el volumen de absorción y retención de líquidos (FAO, 2013).

En relación con Colombia, el informe Nacional de disposición final de residuos sólidos realizado en el año 2017 por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios y el Departamento Nacional de Planeación estableció que el país está conformado por 1102 municipios que disponen 30.081 t al día de residuos sólidos, información que fue recolectada de 820 municipios, que corresponde al 74% de los municipios del país. El 26% (282 municipios) excedente, representa los municipios de los cuales no se obtiene ninguna información. El método de disposición final que más se utiliza en el país es el relleno sanitario, el cual atiende el 78% de los municipios, existen 158 sitios de disposición final con información sobre su vida útil, el 35% de estos sitios poseen una vida útil vencida o próxima a vencer dentro de los siguientes tres años a este informe. En este contexto, el país cuenta con 216 sitios para la disposición final, dividido en seis tipos de métodos (3 acreditados y 3 no acreditados), dentro de los acreditados se encuentran 144 rellenos sanitarios, 8 celdas de contingencia y 3 plantas de tratamiento; dentro de



los sitios no acreditados se evidencian 41 botaderos a cielo abierto, 18 celdas transitorias y 2 áreas de enterramientos.

#### **5.4 Gestión Integral de Residuos Sólidos**

La gestión de residuos es una alternativa que busca crear cultura ciudadana, en la disminución y generación de residuos, la cual no está encaminada únicamente a realizar la entrega de los residuos a las empresas delegadas de su recolección, sino que además efectúa las fases necesarias de éste: disminución de su generación, apartamiento en la fuente, acopio adecuado, transporte, tratamiento y disposición final, con esta reducción de residuos se aporta significativamente a reducir los gases de efecto invernadero, las afectaciones a la salud humana y el daño al medio ambiente, además posee un prototipo de gestión, planificación de la gestión, implementación, operación, seguimiento y control de éstas (Gestión Integral del Riesgo en la Salud, [GIRS], 2015).

El modelo de gestión integral de residuos propuesto por la Guía Técnica Colombiana (GTC-86, 2003) se fundamenta en la técnica del ciclo continuo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar), a fin de conseguir una mejora continua en la gestión de residuos, alineando sus esfuerzos a la disminución de los residuos mediante la implementación de procesos productivos.

La planificación de la gestión comprende el diagnóstico y los programas de gestión de residuos. Inicialmente se debe establecer las condiciones actuales de los residuos, el ciclo de generación y los objetivos fundamentales de la gestión, los cuales son el soporte primordial de los programas de gestión, dentro de estos programas se plantean acciones para la ejecución de las fases de manejo y disposición de residuos, igualmente deben ser eficientes, que permitan ser

modificados según la necesidades que puedan presentar, esta planeación debe estar planificada en tres perspectivas de tiempo, a corto, mediano y largo plazo (PGIRS, 2015).

En la implementación y operación se detallan las medidas y recomendaciones a tener en cuenta en el proceso de cada una de las fases que intervienen dentro del manejo y la disposición de residuos; al mismo tiempo se proyectan los métodos de contingencia de manera fundamental del manejo integral de residuos y la socialización y sensibilización, a fin de cumplir exitosamente la gestión integral.

La fase final de la ejecución de la gestión integral de residuos es el seguimiento y mejora, en donde se tienen protocolos que permiten realizar la evaluación en el desempeño de los programas de gestión. Dentro de los principales actores de este proceso se encuentran la oficina de control interno, los Alcaldes Municipales y las autoridades ambientales que tengan competencia y algunas herramientas que podrían ser utilizadas dentro de esta fase son las auditorías e indicadores, siendo recomendable realizar periódicamente su revisión (PGIRS, 2015).

Según el documento la Gestión Integral de Residuos Sólidos (2016), una fase esencial es la caracterización, en la cual se hace obligatorio identificar las características físicas y químicas de los residuos, como lo son la humedad, materia orgánica seca, el contenido de proteínas, nutrientes y macronutrientes, entre las más importantes. La materia orgánica almacenada debe alcanzar entre el 5% y el 95% de húmeda, en relación al monto de materia seca presente. La caracterización se realiza teniendo en cuenta la necesidad de establecer la técnica de aprovechamiento que se aplicara a la materia orgánica residual. Estas iniciativas se fundamentan en la utilización de métodos bioquímicos, termoquímicos, físicos y/o físico-químicos.

## 5.5 Lixiviados

Los lixiviados son líquidos que se generan en el fondo de un sitio de disposición final de residuos sólidos debido a su acumulación y mal manejo de los mismos y también se forman por el agua de irrigación que entra a estos sitios; adicionalmente es importante destacar que estos lixiviados son generados por los procesos de biodegradación de los residuos sólidos urbanos al interior de la masa de residuos (Rivas, 2009).

Los lixiviados tienen diferentes propiedades, en donde se debe hacer énfasis, es en su alto contenido contaminante. Estos lixiviados poseen un aumento del contenido de materia orgánica, nitrógeno y fósforo, también se puede encontrar un contenido alto de patógenos y sustancias tóxicas, entre metales pesados y constituyentes orgánicos. Adicionalmente, los lixiviados que se generan por la mala disposición de los residuos al no tener un manejo adecuado, pueden llegar a infiltrarse en los suelos, lo que puede generar impactos negativos directos sobre las aguas subterráneas y superficiales; cuyo grado de impacto dependerá de las características de los contaminantes y de la cantidad generada, además se debe tener en cuenta la velocidad de distribución en el subsuelo (Noeggerath y Salinas, 2011).

Considerando lo anterior, se hace necesario recolectar y dar un tratamiento adecuado a éstos líquidos percolados; en donde se torna importante considerar una serie de parámetros que puedan afectar el funcionamiento del proceso y tecnología para su tratamiento (Noeggerath y Salinas, 2011) y que está relacionado estrechamente con la cantidad generada, lo cual depende de: (a) la putrefacción de la materia orgánica, (b) humedad de los residuos, (c) precipitación de la zona, y (d) capacidad de campo del sistema, parámetro que está ligado con la humedad del suelo (Fuentes, 2006).

Por lo anterior es muy importante cuantificar la cantidad de lixiviados que se producen y en este sentido, se hace necesario conocer la cantidad de agua que puede llegar a infiltrarse por la precipitación, la humedad de los residuos sólidos, la humedad del material que cubija el lixiviado y la humedad de los lodos que se llegasen a generar y si se permite la evacuación de éstos (Giraldo, 2003).

### **5.5.1 Técnicas y Métodos para el Tratamiento de Lixiviados**

En cuanto al tratamiento de los lixiviados, este es una problemática destacable dentro de la ingeniería ambiental, en la búsqueda de una solución eficaz, que consiste en reducir la producción de lixiviados, o al menos en lograr producir menos lixiviados contaminantes. Sin embargo, esta solución se puede llegar a alcanzar solo cuando la problemática sea tomada en forma global y se tengan en cuenta los costos ambientales en todo el proceso que deben sufrir los materiales, desde que se generan, en la transformación, su distribución, uso y disposición final; hasta llegar a ese punto, es muy probable que los lixiviados que se generan durante la mala disposición de residuos continúen siendo un problema que perjudica a la sociedad y contribuye a la contaminación de los suelos, aguas subterráneas o superficiales (Patiño, 2007).

Entre las tecnologías para el tratamiento de los lixiviados es necesario tener en cuenta las características de los rellenos sanitarios, la tecnología más eficiente y económicamente viable, para escoger el tratamiento adecuado se debe realizar un diagnóstico preliminar, que permita identificar su composición y la caracterización de los lixiviados, puesto que de esto dependerá el tipo de tratamiento a utilizar (Agudelo, 2010). Actualmente la tecnología más utilizada para prevenir y minimizar la contaminación de los recursos naturales (suelos, aguas superficiales y subterráneas) por lixiviados, es el tratamiento aplicado a las aguas residuales, esto debido a que estos contienen una mayor concentración y variabilidad de contaminantes.

Entre los factores que se deben considerar dentro de los procesos a utilizar durante el tratamiento de los lixiviados encontramos: (a) las características y la cantidad de lixiviados que se generan, (b) objetivo del tratamiento, (c) la naturaleza de la exposición del relleno junto con los impactos que se puedan generar, y (d) el mantenimiento del lugar una vez sea clausurado o cumpla con su vida útil (Fuentes, 2007).

En Colombia se han implementado diferentes alternativas para el tratamiento de lixiviados, entre los que encontramos: Procesos físico químicos, los procesos biológicos (procesos anaeróbicos, procesos aeróbicos), sistemas naturales, evaporización, sistema de membranas, biorreactores con membranas, la osmosis inversa y la recirculación (Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios, s,f).

Los lixiviados generados en los procesos del compostaje se obtienen de la descomposición de la materia orgánica, los cuales al ser degradados forman un fertilizante líquido orgánico. Estos lixiviados originados gracias a que la humedad que acelera su generación, contienen altas concentraciones de sales y otros compuestos secundarios, también contienen altos nutrientes y microorganismos, y generalmente su coloración es de color marrón. La recolección de los lixiviados se hace difícil ya que estos tienen contacto continuo con el suelo y su infiltración es más fácil. Para el proceso de aquellos lixiviados concebidos por las composteras, se aconseja realizar su recolección y garantizar condiciones anaeróbicas, siendo almacenados en un lugar seco y oscuro, en el momento de que estos no emitan ningún tipo de olor desagradable podrán ser utilizados como control de plagas y enfermedades. Algunas metodologías informan que es posible realizar su aprovechamiento una vez recolectado (Vermicompostaje – lixiviados, Compostadores.com).

Es necesario resaltar la importancia de tener en consideración la vida útil de los rellenos sanitarios o sitios en donde van a hacer almacenados los lixiviados, incluso después de ser cerrados, ya que posiblemente la composición y el caudal cambien de una forma continua. Por tal razón, las infraestructuras para el tratamiento de los mismos debe considerar una serie de premisas, esto con el fin de responder a los cambios en sus características, las fluctuaciones del caudal y la carga contaminante (Romero, 2010).

#### **5.5.1.1 Enfoque de Tratamiento por Procesos Físico - Químicos**

Sobre los lixiviados es posible aplicar diferentes tratamientos, en donde se pueden incorporar procesos fisicoquímicos y biológicos (anaerobia y aerobia), teniendo en cuenta las altas cargas orgánicas (Méndez et.al, 2004). Los procesos fisicoquímicos están enfocados en la reducción de la suspensión de sólidos, de las partículas coloidales, del material flotante, el color y de los compuestos tóxicos presentes, por lo cual se pueden involucrar tres procesos: coagulación, floculación y la sedimentación.

El tratamiento fisicoquímico se fundamenta en la eliminación de las partículas del líquido, utilizando sustancias llamadas coagulantes, que buscan modificar algunas características como el pH, la alcalinidad, la concentración de sólidos suspendidos y la carga eléctrica, (Méndez et.al, 2004). En distintos procedimientos y pruebas aplicadas a lixiviados se ha logrado evidenciar que, con solo lograr la alteración del pH, se obtiene una transformación en su estructura, lo cual lleva a propiciar la coagulación y después su precipitación; con lo cual se reduce la concentración de diferentes contaminantes, como lo son los metales pesados, la materia orgánica suspendida y disuelta (Fuentes, 2010).

### **5.5.1.2 Enfoque de Tratamiento por Procesos Biológicos**

Las alternativas más eficientes empeladas para la lograr la remoción de materia orgánica en los lixiviados son los procesos biológicos (Pérez, 2010). Teniendo en cuenta los distintos estudios se ha identificado que los lixiviados jóvenes responden más efectividad a los procesos biológicos, en donde se muestran altos niveles de ácidos graso volátiles (AGV) y su relación de demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno son altas, indican alta biodegradabilidad (Martínez, 2014). Dependiendo de las características de los lixiviados se puede implementar el tratamiento biológico aerobio o anaerobio, el tratamiento aerobio se basa en la en la eliminación de los compuestos orgánicos con la utilización de microorganismos en presencia de oxígeno y de agitación; el tratamiento anaeróbico consiste en la eliminación de compuestos orgánicos con la utilización de un gran número de bacterias, sin presencia de oxígeno (Martínez, 2014).

### **5.5.1.3 Enfoque de Tratamiento por Sistemas Naturales**

Los tratamientos por sistemas naturales, lagunas y humedales artificiales, son opciones presentadas para la recuperación de los lixiviados, los cuales presentan una serie de ventajas, por ser simples operativamente, con la posibilidad de alcanzar diferentes niveles en su tratamiento, iniciando por un pre tratamiento hasta alcanzar tratamientos terciarios. La utilización de las lagunas y los humedales pueden llegar a mejorar dificultades que se presentan en la aplicación de otro conjunto de técnicas, tales como la acumulación de precipitados, la presencia de espumas, la toxicidad a los microorganismos, y las variaciones en cargas hidráulicas y orgánicas (Cortes y Parra, 2012).

En este sistema, los humedales y lagunas son de baja profundidad, dependiendo el tipo de lixiviado se propagan especies acuáticas, que se realizan la purificación del agua, mediante procesos naturales, pero se debe tener en cuenta que este tipo de sistema, requiere de una gran cantidad de terreno para la implementación de los procesos durante el tratamiento (Agencia de protección ambiental [EPA], 2000),

#### **5.5.1.4 Enfoque de Tratamiento por Sistemas de Membranas**

Esta es una de las tecnologías desarrolladas en los últimos años y su aplicación se observa con mayor frecuencia para el tratamiento de todo tipo de efluentes, incluyendo los lixiviados. Por medio de las membranas se elaboran procesos de microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, ósmosis inversa, ósmosis directa e inclusive la evaporación (García, 2015).

De forma general este sistema se basa en la utilización de membranas para la separación de las partículas presentes en los líquidos, si la diferencia que existe entre los procesos es el tamaño de los poros, igualmente este tratamiento busca la eliminación de sustancias que presentan altos contenidos de sólidos disueltos inorgánicos (Tratamiento de Lixiviados de un Relleno Sanitario, 2018).

#### **5.5.1.5 Enfoque de Tratamiento por Recirculación**

La recirculación de los lixiviados es la técnica más utilizada en América latina, para este tipo de residuos; con esta técnica el objetivo primordial es vigilar la dispersión de los lixiviados. Durante la recirculación se retornan por medio de re-infiltración dentro de los residuos dispuestos. Esta técnica es el método para controlar más eficientemente, esto debido a que los lixiviados generados están continuamente sufriendo una transformación por medio de procesos biológicos, precipitación y absorción.



Con estos tres procesos se puede asegurar el crecimiento del contenido de humedad, el cual contribuye a incrementar el porcentaje de degradación biológica de los residuos, la estabilidad biológica y el nivel de recuperación del metano producido, así mismo se presenta aumento en el pH, que con lleva a la solubilidad de los metales, esto significa que se disminuyen los metales presente en los lixiviados (Martínez, 2014).

Los lixiviados de compost poseen una gran variedad de microorganismos benéficos, en su mayoría compuestos por bacterias, hongos y protozoarios, cuyo objetivo es el de competir con otros microorganismos por su nutrición, los lixiviados de compost deben ser aplicados en la superficie de las hojas de los cultivos, estos lixiviados contribuirán a suprimir las enfermedades (Larco Reyes, 2004). Debido a la composición microbiana (bacterias, hongos y protozoarios) junto con otras sustancias como los fenoles y aminoácidos contribuyen al aumento en la resistencia a las infecciones de la planta, en los cultivos de papa y tomate ayuda a controlar el tizón, el mildiu polvoroso (Compostadores, Sostenibilidad en Estado Puro (s,f)).

## **5.6 Compostaje**

De acuerdo a la Organización Panamericana de la Salud (s.f), el compostaje es un proceso biooxidativo. La matriz contiene material orgánico (estiércol, los residuos de animales, las virutas de madera, los residuos vegetales (hojas) y los desperdicios de comida), estos contribuyen como fuente de nutrientes, en el incremento de microorganismos; un espacio para los metabolitos, el intercambio de gas y el aislamiento térmico.

Para Holgado y Col, (1988), el proceso de degradación de los residuos orgánicos tiene sus orígenes hacia el siglo I - D.C, este proceso es causado gracias a la actividad de los microorganismos, los cuales crecen y se reproducen dentro materiales orgánicos en

descomposición. Lo que se espera al final de estas actividades vitales de degradación, es la transformación de los residuos orgánicos originales a compost, en donde diferentes factores influyen promoviendo elevadas temperaturas, la reducción del volumen y el peso de los residuos, haciendo que estos se humifiquen ( Nakasaki, 2005).

Teniendo en cuenta que la materia orgánica es uno de los componentes más importantes del suelo, ya que incide en sus propiedades físicas, químicas y biológicas más significativas que contienen los suelos, para que el compost sea un aportante del suelo, durante el proceso de compostaje el material debe descomponerse al máximo. Los nutrientes presentes en los suelos, están separados en dos grandes grupos, los macro y micro nutriente. Entre los macronutrientes primarios están el Nitrógeno, Fosforo y Potasio; y entre los secundarios el Magnesio, Azufre y Calcio, entre los micronutrientes están el Hierro, Zinc, Manganeso, Boro, Cobre y el Cloro (FAO, 2013).

### **5.6.1 Tipos de Compostaje**

#### **5.6.1.1 Compostaje Aeróbico**

Teniendo en cuenta el Manual de Compostaje del Agricultor, (FAO, 2013), este proceso se fundamenta en la presencia de Oxígeno y se define por el predominio de los metabolismos respiratorios aerobios y por el uso alterno de etapas meso térmicas (10°C-40°C), donde se presenta actividad microbiana, y etapas termo génicas (40°C-75°C), que cuentan con la intervención de microorganismos mesófilos.

Según la guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura (2014), el compostaje debe cumplir con un proceso de

degradación, en donde se encuentran incluidas tres fase resumidas así: la primera la fase mesófila, segunda fase termófila y la última fase la de maduración (FAO, 2013).

#### **5.6.1.2 Compostaje Anaeróbico**

Según el documento la Recuperación de Nutrientes en Fase Solida a Través del Compostaje, Escuela de Ingeniería de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente (EIDENAR, s.f), la transformación anaeróbica es la putrefacción de la materia orgánica por la falta de Oxígeno, que la realizan las bacterias anaeróbicas, en donde descomponen la materia orgánica en Metano, dióxido de Carbono, trazas de Amoniac y sulfuro de Hidrógeno y lodos. Estos lodos pueden ser aprovechados como fertilizantes y en muchos casos utilizados para mejorar el suelo, posteriormente a que sufran un proceso de deshidratación.

#### **5.6.2 Sistemas de Compostaje**

Los sistemas de compostaje se pueden clasificar: cerrados, sistemas verticales, sistemas horizontales y sistemas abiertos (Labrador, 2001). Es necesario tener en cuenta varios factores para la elección de una técnica determinada, entre las que se pueden mencionar: la economía y costo, ubicación, volumen de material a ser operado, clase de materia prima, estado y medidas locales o estatales.

##### **5.6.2.1 Sistemas Cerrados**

La guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura (2014) indica que, los sistemas cerrados se basan en la utilización de contenedores. Este método es utilizado a nivel mundial para la realización del compostaje doméstico, y se caracteriza porque la materia prima no adquiere relación directa con la parte externa, todos los ingresos y las salidas de los gases y líquidos que se generen se efectúan a

través de conductos. Este sistema se relaciona con el compostaje anaeróbico teniendo en cuenta que la descomposición de la materia orgánica se realiza en ausencia de Oxígeno. Estos sistema cerrados presenta una serie de ventajas como fácil manejo, evita la acumulación de agua por lluvias, facilidad de extracción de lixiviados, facilidad de controlar roedores y aves entre otros.

#### **5.6.2.2 Sistemas Verticales o Continuos**

Según la FAO, (2013), se define como sistemas verticales a todos aquellos sistemas que se caracterizan por la disposición vertical del contenedor, el cual reposa sobre su base, el material a compostar debe ser agregado por la entrada superior y se les llama continuos ya que el material ya compostado es retirado por la parte inferior. Pueden ser manipulados en elevaciones de 4 a 10 metros, en donde los residuos a compostar se encuentran completamente agrupados. Con este método se vigila la temperatura, la aireación y las características de los gases.

#### **5.6.2.3 Sistemas Horizontales o Discontinuos**

El sistema de disposición horizontal se le llama aquel donde el recipiente a utilizar reposa sobre su eje longitudinal y se le llama discontinuo debido a que su proceso se realiza por cargas, esto significa que una vez cargado el recipiente se debe dejar que el proceso de compostaje hasta que termine el proceso para así poder extraer el material ya compostado. En este sistema se controla la humedad y la compactación (FAO, 2013).

#### **5.6.2.4 Sistemas Abiertos**

En la publicación Compostaje de Residuos Sólidos Orgánicos Aplicación de Técnicas Respirométricas en el Seguimiento del Proceso (2006), los sistemas abiertos se basan en la realización de pilas o hileras de forma triangular con diferentes metodologías de aireación. Este sistema se complementa con el compostaje aeróbico. La materia prima a compostar es colocada en una pila,

sin que estos se compriman, con el fin de permitir que el aire no permanezca retenido. Los montones o pilas pueden ser ventilados por volteo el cual se debe realizar a lo largo del proceso.

Dentro del sistema abierto, se pueden clasificar:

**5.6.2.4.1 .Compostaje en Hilera o Apilamiento con Volteo:** Según el documento la Determinación y control de olores en la gestión de residuos orgánicos (2013), el compostaje en hilera basa en la transformación del material que se acomoda en hileras con presencia de oxígeno, se realiza de forma manual o mecánica, pero antes de establecer las hileras se desarrolla un primer proceso al material orgánico mediante trituración. Se efectúa la edificación de cúmulos alargados, de forma triangulo. El material a compostar se debe voltear por lo menos dos veces a la semana, buscando homogenizar la mezcla, mientras que se controla la temperatura y su humedad, aumentando la oxigenación de la pila. Después de realizar el volteo de la pila la temperatura tiende a descender entre 5°C a 10°C, la frecuencia de los volteos se realiza teniendo en cuenta el tipo de materiales a compostar, la cantidad de humedad y la necesidad con la que se necesite realizar el proceso; para establecer esta frecuencia es necesario monitorear constantemente la temperatura y la humedad (Sistemas y Técnicas para el Compostaje (s.f)).

**5.6.2.4.2 Pila Estática Aireada o Apilamiento Estático:** Según el documento la Determinación y control de olores en la gestión de residuos orgánicos (2013), el aire ingresa a la pila por aireación forzada, aireación inducida o el sistema aspira el aire. Este sistema consiste en ubicar una red de tubos con perforaciones para conducir el aire, sobre las que se apilará el material orgánico a compostar. La elevación de las pilas puede alcanzar entre 2cm y 2,5cm. Para aislar la pila se utiliza una capa de compost cribado encima de la misma, con esto se evita los olores. Con esta práctica se prescinde del volteo frecuente, aportando el aire necesario de forma mecánica.

### 5.6.3 Materiales Compostables

De forma general las materias orgánicas son compostables, pudiendo ser restos de cosechas, hojas caídas de árboles, heno, las heces de porcinos, equinos, bovinos, caprinos y ovinos, sus camas de corral, los desechos orgánicos generados en el hogar, alimentos en descomposición, cascara de frutos secos, entre otros (FAO, 2013). Todos estos elementos pueden ser utilizados durante el proceso de compostaje, teniendo en cuenta las propiedades tanto físicas como químicas que son favorables dentro del proceso, inicialmente, las características físicas intervienen en el proceso de entrega, su almacenamiento y manipulación de las materias primas previo al inicio del proceso de compostaje; en tanto que las características químicas intervienen especialmente las características del producto.

Las características de las materias primas que pueden perturbar el proceso del compostaje, están relacionadas con la humedad y cantidad de sólidos, la putrefacción y en general todas sus propiedades físicas. Por ejemplo, la cantidad de humedad o contenido de sólidos establece el tipo de método de abastecimiento a utilizar; la presencia elevada de humedad (disminución de sólidos), demandan un estilo de acopio con un desagüe apropiado. Ahora bien, las propiedades físicas de la materia prima alterarán especialmente el valor en el transporte, esto se debe a que la materia prima con alta presencia de biosólidos, obtendrá menores requerimientos en su transporte y por esta razón su valor disminuye.

Teniendo en cuenta lo expuesto por Martínez et al, (2010), los factores importantes que intervienen durante el proceso de compostaje son los agentes estructurales, los cuales son elementos utilizados para manipular el contenido de humedad o proveer porosidad a la materia prima. En cuanto a la porosidad, que quiere optimizar la aireación con la utilización de una matriz, igualmente el ajuste de la relación C/N, calidad del material, apilamiento y acopio. Un

prototipo claro del resultado por la utilización de estos agentes durante el proceso de compostaje, es en el momento que la cantidad de humedad en la materia prima supera el 65%, Richard y colaboradores (2002), sustentan que la humedad debe estar entre los 60°C a 70°C, en este caso es necesario agregar aserrín o compost seco procesado anticipadamente para disminuirla. Así mismo, cuando la materia prima alcanza niveles bajos de porosidad, se pueden utilizar trozos de madera o virutas de neumáticos de caucho molido, que contribuyen al aumento del volumen y pueden ser extraídos posteriormente del compostaje y aplicados nuevamente.

Los agentes estructurales pueden ser orgánicos o inorgánicos, como ejemplo se puede mencionar, las pedazos de madera, aserrines, cáscara de arroz, heno, bagazo de plátano, jacintos de agua, residuos de jardín, adornos de árbol, recortes de caucho triturado, residuos agrícolas, cáscaras de cacahuates, etc. Su aprovechamiento puede tener un alto valor y su volumen puede alcanzar 2,54cm a 3,81cm.

Cuando la relación Carbono-Nitrógeno alcanza niveles altos, es inevitable la utilización de un agente de carga que amplíe la cantidad de Nitrógeno, y es por esto, que se acelera el proceso. Estos agentes pueden ser el excremento animal, biosólidos y hierba. Las materias primas utilizadas durante la elaboración de compostaje, dependiendo las funciones que cumplen, se dividen en: enriquecedoras, activadoras, no utilizables y comunes.

#### **5.6.3.1 Materias Primas Enriquecedoras**

Son aquellas que se añaden en busca de aumentar el contenido de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en el compost, o utilizadas también para conservar los niveles de pH. Una materia prima de este tipo es la melaza: que es un azúcar simple, de fácil degradación, ya que al relacionarse con el nitrógeno no proteico (NNP) libera fácilmente energía. Es por esto, que la melaza fomenta

la fermentación en los abonos orgánicos, generando un acrecentamiento significativo en la cantidad de microorganismos e igualmente, es rica en Potasio, Calcio, Magnesio y micronutrientes (Bohórquez, 2016).

#### **5.6.3.2 Materias Primas Activadoras**

Son todas aquellas que provocan la descomposición biológica del compost, en donde por medio de la adición de cepas de bacterias se favorece la putrefacción de materia orgánica y fomenta el incremento de los contenidos de Nitrógeno y de elementos menores. Es utilizada ya que el primordial inconveniente que se presenta en la transformación del compostaje es la falta de Nitrógeno, esta situación se puede evidenciar cuando en la pila de los residuos a compostar, la temperatura no se eleva o tarda mucho tiempo para obtener su degradación, por tal razón el Nitrógeno es esencial ya que es aprovechado por bacterias y hongos degradadores (Bohórquez, 2016).

#### **5.6.3.3 Materias Primas no Utilizables**

Son todas aquellas materias que no deben utilizarse para realizar compost, entre las que se encuentran los estiércoles de perros, gatos y pájaros, porque pueden contribuir con parásitos, microorganismos, lombrices y virus perjudiciales a los seres humanos. La tusa, aserrín y la madera son materias primas de descomposición lenta, por lo que se hace necesario que sean picados previo a ser utilizados en la producción del compost. No es conveniente utilizar grandes cantidades de grasa, aceites y sales, pues estos favorecen la presencia de animales que afectan los procesos bioquímicos (Bohórquez, 2016).



#### **5.6.3.4 Materias Primas Comunes**

Dentro de las principales materias primas comunes que pueden hacer parte del proceso de compostaje se encuentran los residuos triturados de plantas y ramas, los restos de cosechas, hojas caídas de árboles, heno, cascarilla de arroz, aserrín, el estiércol de porcinos, vacuno, ovino y caprino, restos orgánicos de cocina, alimentos en descomposición, cáscaras de frutos, etc. (FAO, 2013).

#### **5.6.4 Fases del Proceso de Compostaje Aeróbico**

Durante el proceso de compostaje, independiente del método a implementar o que se utilice, se deben utilizar los mismos materiales. Sin embargo, las proporciones varían de acuerdo a las necesidades de dicho sistema. El compost es el producto que se desea obtener al final del proceso de compostaje y debe ser un producto estabilizado, inocuo, que no contenga sustancias fitotóxicas y conserve un alto valor fertilizante Silva et al, (s.f). El proceso de compostaje se desarrolla en tres fases.

##### **5.6.4.1 Fase Mesófila**

Este primer proceso trata de la preparación de las materias primas a utilizar, el objetivo de esta es reducir el tamaño de la materia prima, excluir los materiales no deseados y homogenizar la materia prima. Generalmente, cuanto el volumen de la materia prima a compostar es más reducido, su descomposición se hace a mayor velocidad; la descomposición microbiana se hace presente en la superficie de la partícula, es por esto, que entre más pequeño sea el grosor de la partícula, mayor es el espacio de superficie favorable para dicha descomposición, durante esta fase el proceso inicia a una temperatura ambiente, esta puede alcanzar rápidamente los 45°C, debido a la acción que realizan los microorganismos (FAO, 2013).

Aunque Chiumenti et al. (2005), señalan que el apartamiento de contaminantes se hace más dificultosa cuando los materiales a descomponer presentan humedad y por tanto se recomienda eliminar los contaminantes posteriormente al curado; en cuestión de los residuos sólidos urbanos, que son extremadamente secos, contaminantes como plásticos, piedras, materiales ferrosos y materiales no ferrosos, deben ser separados previo al proceso de compostaje, con el fin de alcanzar una materia más homogénea, para esto se hace inevitable realizar el volteo continuo. Durante la mezcla también se pueden añadir enmiendas antes del compostaje. Entre más constante sea el proceso de volteo, se disminuirán significativamente los olores.

#### **5.6.4.2 Fase Termófila**

Esta fase del compostaje también conocida como fase de higienización se tiene como objetivo producir un producto seguro para las personas y que pueda ser utilizable. Para lograr alcanzar este objetivo, dentro del proceso de compostaje se tendrá que efectuar un control de patógenos (humanos, plantas y animales), disminuir al mínimo las semillas de malezas, evitar que se presenten nuevamente los patógenos y destruir compuestos orgánicos volátiles que son aquellos que generan la producción de olores. Esta etapa comienza cuando el material de composta alcanza temperaturas mayores a 45°C, en donde los microorganismos mesófilos son remplazados por las bacterias termófilas que realizan mayor descomposición a temperaturas altas, estas bacterias degradan las fuentes complejas de carbono (C), así mismo estas bacterias transforman el nitrógeno en amoníaco haciendo que el pH suba (FAO, 2013). A partir de temperaturas mayores a 60°C, se incrementan las poblaciones de bacterias que generan esporas y actinobacterias, con estas altas temperaturas favorecen la eliminación de los quistes, huevos de helminto, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de maleza (FAO, 2013).

En este contexto lo que se busca es controlar la relación de tiempo – temperatura para alcanzar con el objetivo dentro del proceso de compostaje. Variables como la humedad, aireación y relación carbono-nitrógeno están asociadas a la temperatura. Durante el curado se busca alcanzar la estabilidad y madurez del producto. Este proceso de curado se puede hacer antes o después del proceso de cernido. Si el cernido se efectúa antes del curado, se recupera el agente de carga y se previene su deterioro. Además se reduce el área para el proceso de curado, pero es necesario realizar la aireación forzada.

Dado que el proceso de compostaje es un proceso de secado, ya que al aumentar la temperatura se reduce el agua del material a compostar, el control de la humedad es fundamental. El nivel recomendable de humedad, recomendado puede oscilar entre el 50% y el 60%. En los procedimientos de volteo o en los sistemas aireados, es más alta la pérdida de humedad que en los sistemas estáticos, así mismo, cuanto la temperatura se hace más alta en la masa de compostaje, va a ser más mayor la pérdida de agua.

#### **5.6.4.3 Fase de Maduración**

Lo propuesto por Soliva (2001), en esta fase se pueden encontrar dos etapas, la primera es una fase de enfriamiento en donde el material compostado alcanza los 40°C y va hasta alcanzar la temperatura ambiente y la fase de estabilización que se desarrolla una vez el material compostado alcanza la temperatura ambiente, esto se debe a la baja actividad de los microorganismos.

La fase de maduración se puede realizar en el mismo lugar en donde se realizó el proceso de compostaje, la pila de compostaje está sufriendo un proceso de descomposición leve, por lo cual

es necesario continuar con las condiciones aeróbicas, las pilas deben ser pequeñas para permitir la aireación continua (Producción y Gestión del Compost (s,f)).

El tratamiento posterior es la última etapa del proceso de compostaje, esta parte del proceso tiene como objetivo refinar el producto, desde el punto de vista físico, desde el punto de vista químico la naturaleza del producto no va a sufrir cambios, a menos que se pretenda ampliar el potencial para la venta, aplicando una mejora química o biológica. Dentro de esta fase del proceso se identifican dos elementos principales el cernido y la clasificación por aire.

Durante la acción del cercenado, se busca reducir el grosor de las partículas del compost, las cuales pueden reducirse a 3mm o a 9,5mm. Generalmente, la partícula más pequeña (3mm) es utilizada para optimar los campos de golf y césped; sin embargo, las partícula más grandes de 9,5mm son las más utilizadas.

Según el documento (Producción y Gestión del Compost (s,f)), durante el proceso de secado donde implica una aireación extra dentro del proceso de separación, el cual se basa en la densidad y corpulencia de la partícula del compost, que busca la reducción y separación de vidrios, metales, madera, plástico film, plástico duro y otros contaminantes físicos. Durante esta fase es necesario tener en cuenta la humedad, debido a que si tiene un porcentaje menor al 35% se producirá demasiado polvo.

### **5.6.5 Monitoreo Durante el Compostaje**

La FAO (2013), sostiene que el compostaje es un proceso realizado por los microorganismos, en donde se deben tener en cuenta los parámetros que contribuyen al crecimiento y reproducción de estos, entre los parámetros a tener en cuenta encontramos la temperatura, aireación, humedad y pH.

#### **5.6.5.1 Temperatura**

La temperatura dentro del proceso puede ir variando, entre más alta la temperatura en la hilera, mayor es el trabajo que realizan los microorganismos durante la descomposición de los residuos a compostar, este parámetro permite diferenciar las tres fases del proceso de compostaje (Producción y Gestión del compost (s,f)).

#### **5.6.5.2 Aireación**

Considerado un parámetro de gran importancia, ya que el proceso de compostaje se desarrolla frecuentemente por medio aeróbico, esto permite que los microorganismos presentes en el material puedan respirar, a su vez ayuda a la liberación de dióxido de Carbono a la atmosfera, con una buena aireación se evita que el material a compostar se compacte o haya presencia de encharcamientos (FAO, 2013), también favorece a disminuir el exceso de humedad por evaporación y contribuye a mantener la temperatura (Aplicación de Técnicas Respirométricas en el Seguimiento del Proceso, 2006).

#### **5.6.5.3 Humedad**

Este parámetro se encuentra muy relacionado a los microorganismos, ya que estos utilizan el agua como medio de llevar los nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular. Para el compostaje es importante que la humedad se encuentre aproximadamente en un 55%, esto puede variar dependiendo el tamaño de las partículas, cuando la humedad alcanza un mínimo de 45%, se corre el riesgo que la actividad microbiana disminuya (FAO, 2013).

#### **5.6.5.4 pH**

Este parámetro depende de los materiales con los que se va a realizar el proceso de compostaje y también puede variar en cada una de las fases del proceso, en la fase mesófila el

pH se acidifica por la presencia de ácidos orgánicos, en la fase termófila el pH sube, debido a que el amonio hace la transformación a amoníaco, en la fase de maduración el pH se estabiliza alcanzando valores cercanos al neutro, el pH ideal para el compost está en el rango de 5,8 a 7,2 (FAO, 2013).

## 5.7 Marco Legal

Teniendo en cuenta la legislación ambiental tanto nacional como internacional, para el manejo de los residuos orgánicos, en Colombia están establecidos en la Constitución Nacional y normas reguladoras dentro del marco legal, dentro del marco internacional se encuentran las normas establecidas en el parlamento Europeo y consejo Europeo, en donde lo que se busca es el compromiso mundial en el manejo de los residuos sólidos orgánicos y el aprovechamiento de estos residuos, con el fin de contribuir en la disminución de su generación y así mejorar la calidad del medio ambiente. En la tabla 1, se relaciona la legislación ambiental vigente sobre residuos sólidos, teniendo en cuenta no solo un marco legal nacional, sino también internacional.

**Tabla 1.** Legislación ambiental nacional e internacional

<b>ORDEN</b>	<b>ACTO ADMINISTRATIVO</b>	<b>EXPEDIDO POR</b>	<b>TEMÁTICA QUE ABORDA</b>
<b>NACIONAL</b>	Decreto-Ley 2811 de 1974	Congreso de la Republica	Código de Recursos Naturales.
	Ley 9 de 1979	Congreso de la Republica	Reglamentación de las medidas sanitarias manejo y disposición de residuos sólidos. Código Sanitario Nacional.
	Constitución Política 1991	Asamblea Nacional Constituyente	Presenta 49 artículos referentes al medio ambiente, establece el deber del Estado de proteger la diversidad e integridad del ambiente, de prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, también el derecho de las personas a disfrutar de un ambiente sano y la prohibición de

			introducir al territorio nacional residuos nucleares o tóxicos.
	Resolución 541 de 1994	Ministerio de Medio Ambiente	Regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales de concreto y agregados sueltos de construcción.
	Documento CONPES 2750 de 1994	Consejo Nacional de Política Económica y Social	Política del manejo integral de residuos sólidos.
	Política para la gestión integral de residuos de 1997	Ministerio de Medio Ambiente	Gestión Integral de Residuos Sólidos
	Documento CONPES 3530	Consejo Nacional de Política Económica y Social	Lineamientos y estrategias para fortalecer el servicio público de aseo en el marco de la GIRS
	Documento CONPES 3530	Consejo Nacional de Política Económica y Social	Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos
	Decreto 838 de 2005	Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial	Disposición final de residuos sólidos
	Decreto 2981 de 2013	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Reglamentación Prestación del servicio de aseo en sus etapas de manejo
	Resolución 1096 de 2000	Ministerio de Desarrollo Económico	Reglamento Interno del Sector Agua Potable y Saneamiento



			Básico -RAS
	Resolución 1890 de 2011	Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial	Alternativas para la disposición final de los residuos sólidos
	Resolución 631 de 2015	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Regulación de vertimientos a cuerpos de agua superficiales
	Resolución 720 de 2015	Comisión Reguladora de Agua Potable y Saneamiento Básico CRA	Regulación Tarifaria
<b>INTERNACIONAL</b>	Directiva de 19 de noviembre de 2008	Parlamento Europeo y del Consejo	Residuos
	Decisión 2014/955 de 2014	Parlamento Europeo y del Consejo	Modificación Decisión 2000/532/CE, sobre la lista de residuos
	Decisión 2003/33/CE de 2002	Consejo Europeo	Establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos
	Ley 22 de 2011	Ministerio de la Presidencia y para las administraciones Territoriales (España)	De residuos y suelos contaminados
	Ley 16 de 2002	Ministerio de la Presidencia y para las administraciones Territoriales (España)	Prevención y control integrados de la contaminación
	Real Decreto 1481 de 2001	Ministerio de la Presidencia y para las administraciones	Regulación sobre la eliminación de residuos

		Territoriales (España)	mediante depósito en vertedero
--	--	---------------------------	-----------------------------------

**Fuente:** Elaboración propia.

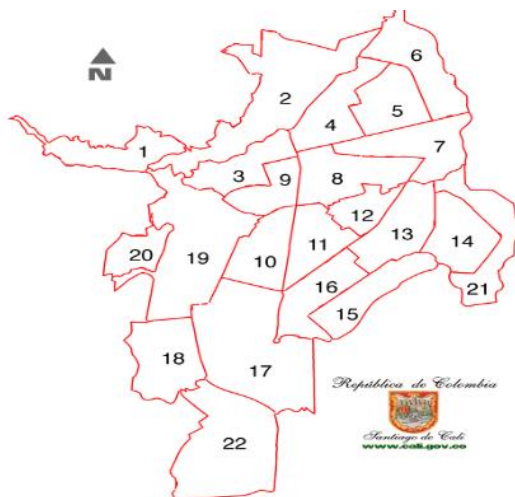
## 6. METODOLOGIA

### 6.1 Descripción del Área de Estudio

#### 6.1.1 Localización

El Grupo de Carabineros y Guías Caninos de Cali, se encuentran ubicado en el Departamento del Valle del Cauca, municipio de Santiago de Cali, comuna 20, barrio Cañaveralejo, (Imagen 1). En las coordenadas (N 03°24'46.2" W 76°34'04.4") (Tabla 2). Limita por el sur con la Diagonal 51 oeste, carretera destapada contigua al Río Cañaveralejo, que comunica al Barrio Siloe con el Barrio la Sirena. Por el norte con la Vereda la Reforma y la escuela TULIO ENRRIQUE TASCÓN, por donde se encuentra una vía destapada que comunica con un caserío de la vereda Pela Bolsillo hasta el cerro de Cristo Rey. Por el oriente se limita con la parte baja del cementerio Jardines de la Aurora y por su parte alta con el sector de pueblo Joven (Siloe), Brisas de Mayo y Sector la Torre. Por el occidente en la parte baja del sector de la Vereda el Mango, en la parte media con la vía destapada de la Sirena sector del crucero llegando a predios del club el cortijo.

**Imagen 1.** Ubicación Comuna 20 Siloe, Cali - Valle del Cauca.



**Fuente:** Alcaldía de Cali. <http://www.cali.gov.co/publico2/mapas/mapcomunasbaja.htm>

### **6.1.2 Geografía**

Según la Alcaldía de Cali, (2014), la ciudad se encuentra ubicada sobre el valle del río Cauca, este valle cuenta con más de 35 km de ancho, en la parte occidental de la ciudad se encuentran los farallones de Cali que son parte de la cordillera occidental, al norte la ciudad limita con el municipio de Yumbo y la Cumbre, al nororiente con el municipio de Palmira y al oriente limita con el municipio de Jamundí, al suroccidente con el sector rural de Buenaventura; la ciudad cuenta con varias vías principales para su acceso, hacia el oriente se encontraran con la carretera panamericana que comunica con el Departamento del Cauca, la carretera Simón Bolívar que comunica la ciudad con el municipio de Palmira y el resto del país, la vía que comunica a Cali con Buenaventura.

### **6.1.3 Clima**

El municipio de Santiago de Cali, cuenta con una temperatura promedio de 24,7°C, con una precipitación anual de 1,130.4 mm y presenta una humedad relativa media anual de 68,8%, (Cali en Cifras, 2015). Teniendo en cuenta el documento situación de salud en Santiago de Cali (2007), en la ciudad de Cali predomina el clima templado, con un promedio de 26°C, con relieves de altas montañas, paramos y laderas.

### **6.1.4 Grupo de Carabineros y Guías Caninos Cali**

El Grupo de Carabineros y Guías Caninos de Cali, se encuentra ubicado en la comuna 20 Siloe, barrio Cañaveralejo del municipio de Cali, (Imagen 3), estas instalaciones tienen más de 40 años de prestar un servicio de seguridad a la comunidad, basado en la utilización de caballos, en sus inicios el Grupo contaba con equinos de razas Colombianas, hacia el año 2008 la Policía Nacional realiza una licitación pública para adquirir 1900 equinos, la cual se otorga a una

empresa Argentina, estos caballos Argentinos son especiales por sus características de peso, altura y su docilidad, del 2008 al 2010 llegan en su totalidad los equinos (Imagen 2), los cuales son repartidos a todas las grandes ciudades del país y en estos momentos prestan su servicio, la ciudad de Cali cuenta con 60 equinos de raza silla Argentina, (El Tiempo, 2008).

**Tabla 2.** Localización Grupo de Carabineros

<b>Coordenadas</b>	
<b>Longitud:</b> N 03°24'46.2"	<b>Latitud:</b> W 76°34'04.4"
<b>Departamento:</b> Valle Del Cauca	<b>Municipio:</b> Santiago de Cali
<b>Comuna:</b> 20 Siloe	<b>Barrio:</b> Cañaveralejo

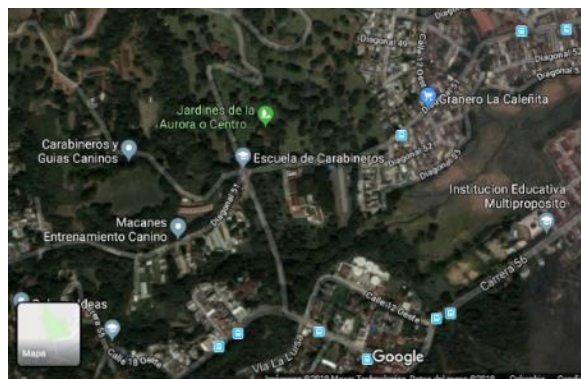
**Fuente:** Elaboración propia. 2019.

**Imagen 2.** Equinos Grupo de Carabineros.



**Fuente:** El Autor (2019).

**Imagen 3.** Ubicación Grupo de Carabineros y Guías Caninos Cali



**Fuente:** Google Maps.

### 6.1.5 Descripción Locativa del Grupo de Carabineros y Guías Caninos

Las instalaciones del Grupo de Carabineros, cuenta con un área aproximada de 42 ha, el ingreso a las instalaciones es por la diagonal 51 oeste, estas se encuentran construidas en una parte alta, cuentan con un área administrativa.

**Imagen 4.** Entrada Grupo de Carabineros y Guías Caninos



**Fuente:** El Autor (2019).

El área adecuada para la tenencia de los semovientes equinos se encuentra dividida en potreros, estos están cercados en alambre, así mismos se tiene construidas 70 pesebreras, (Imagen 5), que se encuentran divididas en tres sitios diferentes, son de medidas aproximadas de

cuatro por cuatro metros, construidas con un piso de cemento, paredes en ladrillo, donde las camas para los semovientes equinos son adecuadas con una capa de 10 cm de cascarilla de arroz y aserrín para el cuidado de sus miembros. Además se cuenta con una enfermería equina, adecuada para la realización los procedimientos médicos, además se cuenta con un espacio adecuado para realizar el herraje.

**Imagen 5.** Pesebreras



**Fuente:** El Autor (2019).

Entre los elementos que se utilizan para las camas de los equinos, se cuenta con cascarilla de arroz y aserrín (Imagen 6), una vez las camas están adecuadas, día por medio se les realiza la limpieza, en donde se saca el material que se encuentra húmedo por la orina, las heces, restos de pasto y heno.

**Imagen 6.** Material utilizado para las camas (aserrín y cascarilla de arroz).





**Fuente:** El Autor (2019).

**Imagen 7.** Material a compostar proveniente de las pesebreras (cascarilla de arroz, aserrín, heces equinas, orina, restos de pasto y heno)



**Fuente:** El Autor (2019).

Para la disposición final de los residuos sólidos orgánicos (aserrín, cascarilla de arroz, heces equinas, restos de pasto y heno), que se generan, se tiene adecuado un lugar a cielo abierto en la parte alta de las instalaciones.

**Imagen 8.** Sitio destinado para la disposición final de los residuos de las pesebreras.



**Fuente:** el Autor (2019).

## 6.2 Métodos Propuestos Para el Manejo de los Residuos Sólidos Orgánicos

El plan para el aprovechamiento y transformación de los residuos sólidos (desechos de pesebreras) y de los lixiviados que se presentan por la disposición inadecuada de los residuos



sólidos orgánicos (desechos de pesebreras), se encuentra encaminado a la disminución de gases que contribuyen a la contaminación atmosférica debido a que estos residuos sólidos orgánicos no son sometidos a ningún tipo de tratamiento, estos esfuerzos están encaminados al aprovechamiento y transformación de los residuos sólidos orgánicos en compost orgánico.

### 6.3 Caracterización de los Residuos Sólidos para el Compostaje

Para la realización del compost con estiércol equino se deben tener en cuenta los materiales necesarios que intervienen dentro del proceso de compostaje (Tabla 3).

**Tabla 3.** Ingredientes del compost

Materiales de carbono, (Materiales secos, heno, cascarilla de arroz, aserrín)	Materiales de nitrógeno, (estiércol)
Aire	Agua Miel

**Fuente:** Elaboración propia, 2019.

Es importante conocer la composición agroquímica del estiércol de caballo (Tabla 4).

**Tabla 4.** Caracterización agroquímica del estiércol de caballo

Humedad 19,5 %	19,5 %
pH	7,24
Conductividad Eléctrica	(ds m <sup>-1</sup> ) 16,74
Materia orgánica	57,8 %
Lignina	20,1%
Carbono orgánico	31,1 %
Nitrógeno Total	15,3 %
Contenido Graso	0,3 %

Fosforo	(P, g kg-1) 2,3
Potasio	(K, g kg-1) 21,2
Calcio	(Ca, g kg-1) 58,6
Magnesio	(Mg, g kg-1) 14,9
Sodio	(Na, g kg-1) 14,9
Azufre	(S, g kg-1) 8,8
Hierro	(Fe, mg kg-1) 3541
Cobre	(Cu, mg kg-1) 42
Manganeso	(Mn mg kg-1) 218
Cinc	(Zn, mg kg-1) 45

**Fuente:** (Predeterminada) J.A. Albuquerque, I. Bautista-Carrascosa, A. Lidón, R. García-de-la-Fuente, J. Girbent, M. Abad and J. Cegarra (2009).

### 6.3.1 Tipo de Compostaje

Para la implementación de este proyecto se utilizó el tipo de compostaje aeróbico, el cual se fundamenta en la degradación de la materia orgánica, por el aumento de la temperatura, la cual se hace de forma controlada, en donde los microorganismos gracias a la presencia del oxígeno descomponen el material orgánico, generando al final del proceso compost.

### 6.3.2 Sistema de Compostaje

El sistema de compostaje que se implementó en la ejecución del proyecto fue el sistema abierto, el cual se basa en disponer los residuos recolectados en la limpieza de las camas de los equinos (pesebreras), en forma de hilera, sin compactar los materiales, este sistema ayuda a

mantener aireada la hilera, también la aireación se realizara por medio del volteo de la hilera, la cual se debe realizar periódicamente (FAO, 2013).

**Imagen 9.** Sistema de compostaje por hileras



**Fuente:** El Autor (2019).

## 6.4 Fases del Proceso de Compostaje

### 6.4.1 Fase Mesófila

Como primera medida para la implementación del plan de manejo adecuado y aprovechamiento de los residuos orgánicos (residuos de pesebreras), se adecuo un lugar de 7 metros de largo por 7 metros de ancho, en donde por medio de los bugís fueron depositados los residuos (desechos de pesebreras). Para el manejo de estas grandes cantidades de residuos, se realizaron hileras de desechos de pesebreras las cuales están compuestas por (heno, aserrín, cascarilla de arroz y estiércol equino) amontonado, estas hileras no sobrepasaron de 1,20 metros de alto x 1,50 metros de ancho, este primer proceso permite el movimiento del aire a través de las hileras. Las hileras fueron cubiertas con lonas plásticas que permiten elevar la temperatura con el objetivo de fomentar la acción de los microorganismos y así mismo se va a prevenir que las mismas se mojen en caso de lluvias, con esto se reducirá la producción elevada de lixiviados.

#### 6.4.2 Fase Termófila – Mesófila

Se debe tener en cuenta que las pilas de los residuos sólidos (desechos de pesebreras) se les debe controlar la humedad y la temperatura, la cual no deberá exceder de los 50°C a 60°C, esto con el fin de evitar que los microorganismos mueran. Para controlar la humedad se verificó de forma manual, para ello se toma un puñado del material en transformación, el cual fue empuñado fuertemente, el material no está muy húmedo ya que no escurrió agua en medio de los dedos, lo ideal es que no se generen líquidos. La temperatura se controla con la utilización de un termómetro digital, así se puede prevenir las altas temperaturas. Al iniciar el proceso es necesario agregar agua con miel, la cual motiva a los microorganismos a degradar los residuos más rápidamente y mantiene una temperatura adecuada para la transformación. Para mantener una temperatura óptima se debe de airear las hileras de almacenamiento, este proceso se realizó por medio del traspaleo, esta actividad de traspaleo se debe realizar aproximadamente cada tres días, así mismo antes de cada volteo se tomó la temperatura de la hilera, evitando que la temperatura llegue a 60°C aproximadamente, con esto se ayudó a que los residuos sólidos en transformación se maduren más rápidamente y así alcanzar un buen compost orgánico.

Debido a la presencia de altas temperaturas dentro de esta fase, las bacterias patógenas y los paracitos presentes dentro del material a compostar, son eliminados totalmente, esto conlleva a que el material compostado quede totalmente higienizado y los microorganismos inicien nuevamente su labor de degradación del material (FAO, 2013).

Teniendo en cuenta el documento la emisión de amoníaco durante los procesos de compostaje y vermicompostaje (2016), dentro de los procesos del compostaje se pueden presentar emisiones en diferentes proporciones de dióxido de carbono, metano, amoníaco y óxido nítrico. El amoníaco es el compuesto que se produce en mayores cantidades dentro de los procesos del

compostaje, para controlar su exceso se realizara el debido control del pH y temperatura. Un compostaje con la aireación adecuada conduce a obtener un producto final con un pH entre 7 y 8, lo que indica una buena descomposición; en relación a la temperatura cada tipo de microorganismos posee un momento para el aprovechamiento de este parámetro, en la fase mesófila su actividad es mayor y más efectiva entre 20° - 40° y para los termófilos entre 40° - 70° (Suler and col, 1977).

Durante el periodo de transformación de estos residuos sólidos orgánicos a compost orgánico se generan altas temperaturas y se presenta una elevación del pH de los residuos en su transformación, para lograr controlar y mantener estabilizado el pH, durante el proceso se realizó la aplicación de agua miel para activar los microorganismos, con esto se busca mantener el nivel óptimo del pH, para controlar el pH del material a compostar. Se realizó el test de medición, teniendo en cuenta la (Imagen 11), tomando muestras del material cada tres días. La temperatura fue tomada con la utilización de un termómetro digital (Imagen 10), cada tres días, así mismos se controló la temperatura con los volteos cada tres días.

#### **6.4.3 Fase de Maduración**

Una vez el compost orgánico estuvo totalmente listo, no fue necesario cercenarlo, ya que el material obtenido presentaba una textura uniforme. El compost orgánico producido será donado a aquellas personas que lideren proyectos productivos, huertas comunitarias y agricultores de la región, en especial a aquellas personas que se encuentran vinculadas a los programas de restitución de tierras de la Presidencia de la República; con esto el Grupo de Carabineros contribuirá a la inclusión social de aquellas personas que han sido afectadas por la violencia; con este tipo de abono se busca mejorar los nutrientes de los suelos y así mejorar la productividad.

Teniendo en cuenta el Manual para la Elaboración de Compost, Bases Conceptuales y Procedimientos (s.f), cuando el material compostado posee una granulometría homogénea no es necesario cribarlo, en caso de ser necesario cribar el compost, se puede utilizar una malla metálica de 1 cm X 1 cm; con el material compostado no fue necesario de cribarlo, teniendo en cuenta que la granulometría del compost era semejante y contribuirá a mejorar la fertilidad de los suelos utilizados para la agricultura, ya que presenten alta carga de nutrientes en forma orgánica.

### **6.5 Tratamiento Lixiviado**

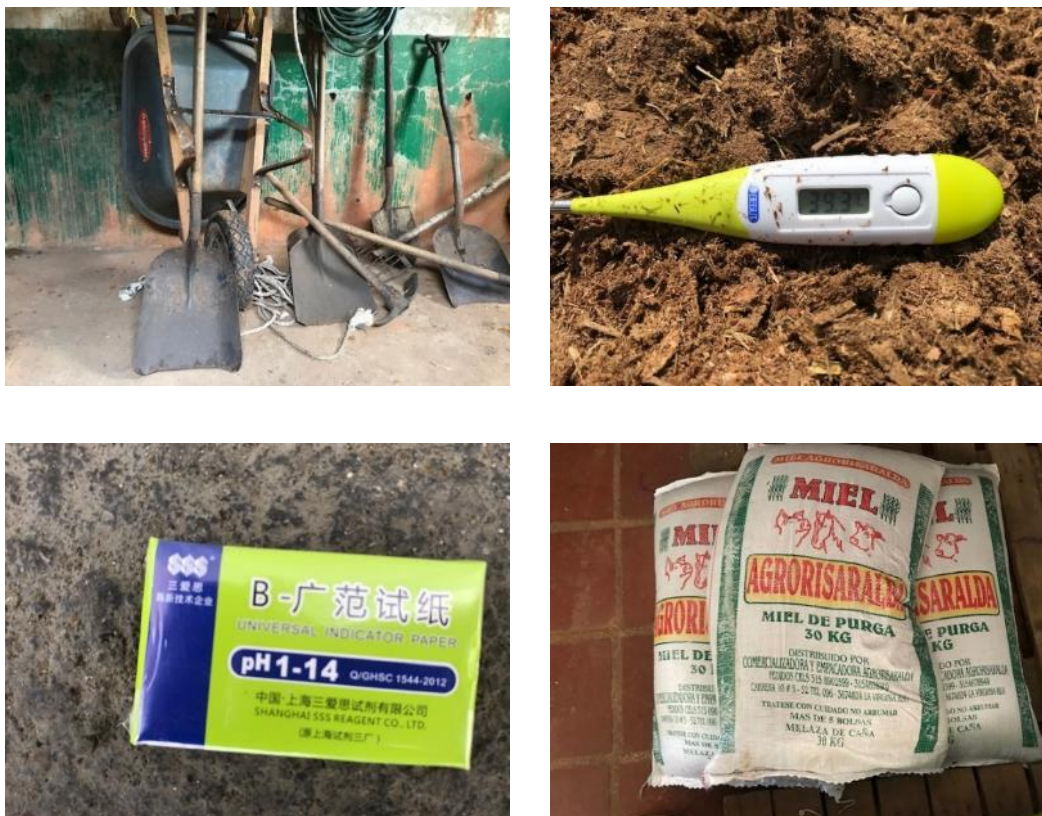
Los lixiviados en los procesos del compostaje se presentan por el exceso de humedad, para darle manejo a su aparición, durante el proceso de transformación de la materia orgánica en compost, se debe adecuar el terreno, el cual debe tener una inclinación que facilite la recolección de dichos lixiviados para ser aprovechados como fertilizantes líquidos orgánicos. Dentro del proceso realizado no se recolectaron lixiviados, se generaron pocos pero no fue posible recolectarlos ya que se infiltraron por el suelo en donde se realizó el proceso de compostaje.

Por otro lado el material en proceso de compostaje fue cubierto con un plástico, pues en caso de presentarse lluvias se evita que la pila reciba directamente el agua. Si es el caso y son recolectados lixiviados, estos pueden ser utilizados para realizar control de plagas y enfermedades; teniendo en cuenta las investigaciones realizadas en los Estados Unidos, Alemania y Japón, en donde han utilizado diferentes lixiviados de compost, demostrando su potencial en la protección de cultivos para un amplio rango de enfermedades, como es el tizón de la papa o tomate, el mildiu polvoso y el Fusarium en manzano (Larco Reyes, 2004).

## 6.6 Materiales Utilizados

Para la puesta en marcha y ejecución del proyecto fueron utilizados palas (marca tramontina, tipo cuadradas), bugís (marca herragro, tipo plástica), termómetro digital (marca BEGUT), cinta para medir el potencial de hidrogeno (pH), (marca pH 1-14), para medir el grado de acidez o alcalinidad del material a compostar, plástico negro y la melaza (agrorisaralda), (Imagen 10).

**Imagen 10.** Materiales utilizados



**Fuente:** El Autor (2019).

**Imagen 11.** Cintas de medición de pH



**Fuente:** El Autor (2019).





## 8. RESULTADOS

Durante la implementación de este proyecto inicialmente se realizó la adecuación del sitio para la ubicación de la compostera, en donde se realizó. La limpieza del terreno, se ubicó un lugar con una pendiente la cual ayudara a recolectar los lixiviados si se llegaran a presentar, así mismo se hizo una canal en medio del terrero esto ayudara a controlar las aguas lluvias en caso de que se presentaran, la compostera fue diseñada con medidas de 7 x 7 metros.

**Imagen 12.** Adecuación compostera



**Fuente:** El Autor (2019).

### 8.1 Inicio Fase Mesófila

- **Día 1**

Se realizó la limpieza de las 60 pesebreras, a las 11:00 horas se acabó de recolectar los residuos de las pesebreras, el material a compostar alcanza un peso aproximado de 840 kg, los cuales son almacenados en el sitio dispuesto para la transformación de este material en compost. Fue almacenado en forma de hilera, el proceso de compostaje inicia con el material a temperatura ambiente (Imagen 13), se tapa la hilera con plástico negro, con el fin de aumentar la temperatura del material y así los microorganismos realicen la descomposición rápidamente.

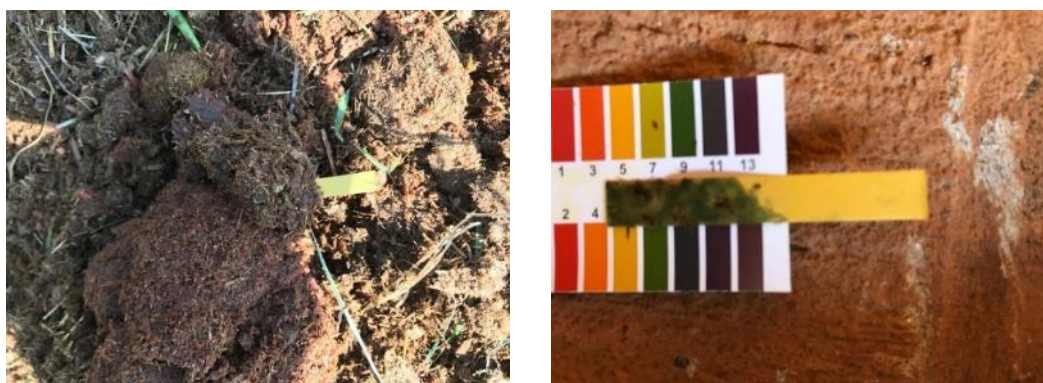
**Imagen 13.** Almacenamiento por hileras día 1.



**Fuente:** El Autor (2019).

Para la medición de pH se utilizó papel tornasol o papel pH (Imagen 14), siendo las 2 pm se tomó una muestra del material compostables a la cual se le realizó la medición del pH obteniendo como resultado un pH ligeramente básico, (Tabla 5). Siendo las 14:20 horas se hace medición de temperatura, con la ayuda de un termómetro marca la temperatura más alta de 39.3°C (Imagen 15).

**Imagen 14.** Medición pH día 1



**Fuente:** El Autor (2019).

**Imagen 15.** Medición temperatura día 1.



**Fuente:** El Autor (2019).

Se realizó la prueba de humedad del material a compostar, para establecer si el material esta con exceso de humedad, se hizo mediante el tacto, en donde se tomó un puñado del material compostado, el cual se sostuvo en la mano, siendo empuñado fuertemente y no generó líquidos (Imagen 16).

**Imagen 16.** Medición humedad día 1



**Fuente:** El Autor (2019).

**Tabla 6.** Resultados obtenidos día 1

<b>Temperatura Ambiente</b>	33°C
<b>Temperatura 14.00 Horas</b>	39,3°C
<b>pH</b>	9 – Ligeramente Básico



<b>Humedad</b>	Sin Exceso de Humedad
----------------	-----------------------

**Fuente:** El Autor (2019).

- **Día 2.**

Se tomó la temperatura en horas de la tarde del material a compostar, encontrando que el material se encuentra a una temperatura de 43°C, se tomó una muestra del material para medir el pH, obteniendo como resultado un pH ligeramente básico (Tabla 6).

Para mejorar la humedad y motivar a los microorganismos para que descompongan la materia orgánica rápidamente se le agrego 10 litros de agua miel, se tapó el material a compostar con el plástico negro para aumentar la temperatura de la hilera (Imagen 17).

**Imagen 17.** Adición agua miel día 2



**Fuente:** El Autor (2019).

**Tabla 7.** Resultados obtenidos día 2

<b>Temperatura</b>	43°C
<b>pH</b>	9 – Ligeramente Básico
<b>Humedad</b>	Sin Exceso de Humedad

**Fuente:** El Autor (2019).

## 8.2 Inicio Fase Termófila – Mesófila

- **Día 4.**

Se realizó el volteo manualmente de la hilera del material a compostar, una vez realizado el volteo, se tomó la temperatura con el termómetro digital el cual al tomar la temperatura el termómetro se desprograma, por tal razón es necesario adquirir un termómetro de vidrio, en donde al tomar la temperatura de la hilera se encuentra a más de 43°C, (Tabla 7), se observa que el material toma un color rojizo, se percibe un olor diferente (Imagen 18).

**Imagen 18.** Volteo manual de la hilera día 4



**Fuente.** El Autor (2019).

Se tomó muestra del material para verificar el pH, en donde el material no ha variado al resultado obtenido el primer día que se tomó, pH ligeramente básico, después del volteo y la toma de muestras se tapa el material a compostar con el plástico negro.

**Tabla 8.** Resultados obtenidos día 4

<b>Temperatura</b>	Más de 43°C
<b>pH</b>	9 – Ligeramente Básico
<b>Humedad</b>	Sin Exceso de Humedad

**Fuente:** El Autor (2019).

- **Día 7**

Se realizó el volteo en forma manual de la hilera del material a compostar, se tomó la temperatura de la hilera, el termómetro registró mas de 43°C, al realizar el volteo en la parte interna del material hubo presencia de elementos de color gris, el material sigue presentando un olor diferente (Imgen 19).

Se tomó una muestra del material a compostar para medir la humedad, se iimplementó la prueba manual en donde al apretar la muestra el material queda compacto y no se generan liquidos en medio de los dedos (Imagen 20), se tomó otra muestra del material para medir el pH, en donde el papel marca un color verdoso acercandose al pH ligeramente básico (Tabla 8).

Se agregó agua miel al material que se encuantra el el proceso de compostaje con el fin de motivar a los microorganismos a descomponer rapidamente el material organico, se tapo nuevamente la hilera con el plastico negro.

**Imagen 19.**Volteo manual hilera material a compostar día 7



**Fuente:** El Autor (2019).

**Imagen 20.** Prueba de humedad y pH día 7

**Fuente:** El Autor (2019).

**Tabla 9.** Resultados obtenidos día 7

<b>Temperatura</b>	Más de 43°C
<b>pH</b>	8 – Ligeramente Básico
<b>Humedad</b>	Sin Exceso de Humedad

**Fuente:** El Autor (2019).

- **Día 12**

Se realizó el volteo manual de la hiera del material a compostar, se tomó la temperatura de la hilera en donde el termometro marca mas de 43°C, con la realizacion del volteo de la hilera se disminuye la temperatura, pero sigue a mas de 43°C, el material a compostar no presenta mal olor, no hay presencia de insectos, no se presentan lixiviados, el material se encuentra mas suelto y a tomado un color café (Imagen 21).



**Imagen 21.** Volteo hilera compostaje día 12



**Fuente:** El Autor (2019).

Se tomó una muestra del material a compostar para comprobar la humedad, mediante la prueba manual, se empuñó una muestra del material, el cual no escurre líquidos por los lados, la muestra se encuentra un poco suelta, lo que conlleva a tener que humedecerla y favorecer la presencia de microorganismos. El material a compostar se humedece con 10 litros de agua miel (Imagen 22).

**Imagen 22.** Prueba humedad día 12



**Fuente:** El Autor (2019).

Se tomó una muestra del material a compostar para medir su pH, el papel marca un pH moderadamente básico (Imagen 23), se observa que el pH se ha vuelto moderadamente básico (Tabla

9). Una vez se realizados los procedimietos antes mencionados se tapa nuevamente la hilera con el plastico negro.

**Imagen 23.** Prueba de pH día 12



**Fuente:** El Autor (2019).

**Tabla 10.** Resultados obtenidos día 12

<b>Temperatura</b>	Más de 43°C
<b>pH</b>	11 – Moderadamente Básico
<b>Humedad</b>	Sin Exceso de Humedad

**Fuente:** El Autor (2019).

- **Dia 16**

Se realizò el volteo manual de la hilera del material a compostar (Imagen 24), con esto se busca reducir la temperatura de la hilera, se tomò la temperatura con el termometro en donde muestra una temperatura mayor a 43°C (Tabla 10).

Se realizò la prueba manual para verificar la humedad del material, se tomò un puñado del material a compostar y se apreto, se observa que la muestra no tiene excesos de humedad, no se han generado lixiviados (Imagen 25).

**Imagen 24.** Volteo hilera día 16



**Fuente:** El Autor (2019).

Se realizó la prueba para comprobar el pH del material a compostar, se tomó una muestra para medir el pH con el papel, se obtiene como resultado que la muestra tiene un pH moderadamente básico (Imagen 26). Seguido, se adiciono 10 litros de agua miel, para humeder un poco el material a compostar y garantizar las condiciones adecuadas para los microorganismos descomponer la materia organica.

**Imagen 25.** Prueba humedad día 16.



**Fuente:** El Autor (2019).



**Imagen 26.** Prueba de pH día 16

**Fuente:** El Autor (2019).

**Tabla 11.** Resultados día 16

<b>Temperatura</b>	Más de 43°C
<b>pH</b>	10 – Moderadamente Básico
<b>Humedad</b>	Sin Exceso de Humedad

**Fuente:** El Autor (2019).

- **Día 20**

Se realizó el volteo manual por traspaleo de la hilera del material a compostar (Imagen 27), es procedimiento se realiza para airear la hilera y disminuir la temperatura de hilera. Se tomó la temperatura de la hilera estando por encima de 43°C (Tabla 11).

**Imagen 27.** Volteo hilera por traspaleo

**Fuente:** El Autor (2019).

Se tomó una muestra del material a compostar, para medir el pH, la cinta indica que el pH se encuentra moderadamente básico (Imagen 28).

**Imagen 28.** Toma pH día 20



**Fuente:** El Autor (2019).

Se tomo una muestra del material a compostar para medir la humedad de la hilera, se tomò un puñado del material el cual se apreto para verificar el exceso de humedad, no se generaron liquidos en medio de los dedos, la muestra se encuentra un poca seca, por tal motivo es necesario humedecerla con 20 litros de agua miel esto con el fin de mejorar su humedad (Imagen 29) y motivar a los microorganismos a descomponer el material organico.

**Imagen 29.** Muestra medición humedad día 20



**Fuente:** El Autor (2019).

Durante el volteo de la hilera del material a compostar se observa que hay presencia de una especie de cien pies (Imagen 30), no hay presencia de malos olores y no se han generado lixiviados.

**Imagen 30.** Presencia de cien pies



**Fuente:** El Autor (2019).

**Tabla 12.** Resultados obtenido día 20

<b>Temperatura</b>	Más de 43°C
<b>pH</b>	11 – Moderadamente Básico
<b>Humedad</b>	Sin Exceso de Humedad

**Fuente:** El Autor (2019).

- **Día 24**

Se aireo la hilera del material a compostar por medio del traspaleo (Imagen 31), se tomó la temperatura de la hilera en donde el termómetro muestra que la temperatura está a más de 43°C (Imagen 32), con el volteo de la hilera se busca reducir la temperatura; se observa que el material se encuentra más suelto, sigue la presencia de cien pies, no se han generado lixiviados.

Se tomó una muestra del material que se encuentra en el proceso de compostaje, para verificar la humedad del material, se realizó mediante el proceso manual, se tomó un puñado del material



el cual fue apretado fuertemente, no se presentó excesos de líquidos entre los dedos, se observa que la muestra está completamente húmeda sin excesos (Imagen 32), se agregó 10 litros de agua miel al material para disminuir la temperatura del material y para motivar a los microorganismos a que descompongan más rápidamente el material orgánico.

Se tomó otra muestra del material que está en el proceso de compost para medir el pH (Imagen 33), la muestra arrojó un pH ligeramente básico (Tabla 12).

**Imagen 31.** Volteo material a compostar día 24



**Fuente:** El Autor (2019).

**Imagen 32.** Toma de temperatura y humedad día 24



**Fuente:** El Autor (2019).

Dentro de la evolución que se ha presentado dentro de la transformación del material orgánico (residuos de pesebreras), se ha observado que el material posee excelentes componentes

nutricionales que contribuyen a mejorar la calidad de los suelos, teniendo en cuenta que a los alrededores del lugar en donde se esta llevando la transformacion se hace evidente el crecimiento de material vegetal (pasto), (Imagen 34).

**Imagen 33.** Toma muestra pH día 24



**Fuente:** El Autor (2019).

**Imagen 34.** Presencia vegetación día 24



**Fuente:** El Autor (2019).

**Tabla 13.** Resultados obtenidos día 24

<b>Temperatura</b>	Más de 43°C
<b>pH</b>	9 – Ligeramente Básico
<b>Humedad</b>	Sin Exceso de Humedad

**Fuente:** El Autor (2019).



- **Día 27**

Continuando con el proyecto, se toma una muestra del material a compostar, con el fin de verificar la humedad presente, se realiza la prueba por medio manual, se aprieta la muestra empuñada, la cual no escurren lixiviados, la muestra se encuentra un poco seca, por tal razón es necesario agregar agua miel (Imagen 35).

**Imagen 35.** Toma muestra humedad día 27



**Fuente:** El Autor (2019).

Se tomó muestra del material compostable, con el fin de verificar el pH, se tomó la muestra y con la utilización de la cinta pH (Imagen 36), encontrando como resultado un pH ligeramente básico (Tabla 13). Se realizó el volteo manual del material a compostar, el material ha disminuido su volumen, (Imagen 37), se evidencia que el material se encuentra más suelto y ha adquirido un color café, no se perciben malos olores, para tener en cuenta en este día no hay presencia de insectos (cien pies).

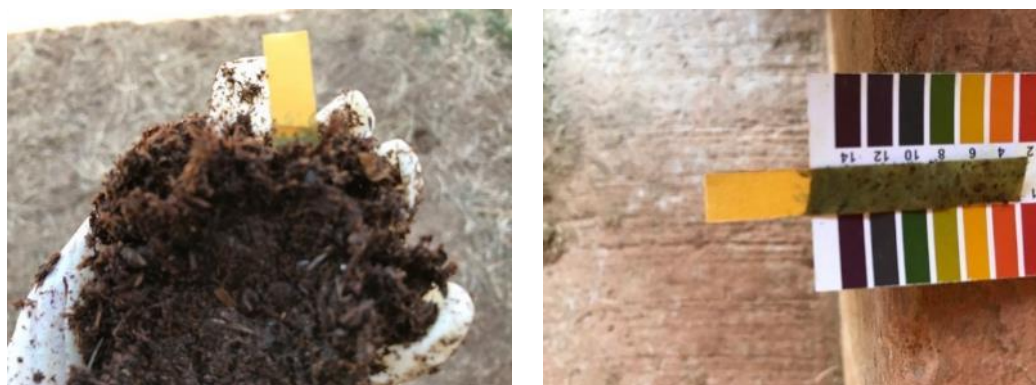
**Imagen 36.** Volteo hilera día 27



**Fuente:** El Autor (2019).

Se tomó la temperatura de la hilera, el termómetro marca una temperatura por encima de los 43°C, después de haber realizado el volteo la hilera continua con una temperatura mayor a 43°C, se agrega agua miel para disminuir la temperatura y motivar a los microorganismos en la descomposición del material (Imagen 38). El material es tapado con el plástico negro.

**Imagen 37.** Toma muestra pH día 27



**Fuente:** El Autor (2019).

**Imagen 38.** Adición de agua miel día 27.

**Fuente:** El Autor (2019).

**Tabla 14.** Resultados obtenidos día 27.

<b>Temperatura</b>	Más de 43°C
<b>pH</b>	8 – Ligeramente Básico
<b>Humedad</b>	Sin Exceso de Humedad

**Fuente:** El Autor (2019).

### 8.3 Inicio Fase de Maduración

- **Día 30**

En el día 30 se da por finaliza la fase de Termófila y se da inicio a la fase de maduración, la cual tendrá un tiempo de duración de 15 días, en los cuales el material a compostar deberá de bajar de temperatura y se estará apto para su aprovechamiento; se observa crecimiento de pasto a los alrededores del material, así mismo cuando se realizó el volteo de la hilera en observa el crecimiento de vegetación debajo del material a compostar (Imagen 39).



**Imagen 39.** Crecimiento vegetación día 30.



**Fuente:** El Autor (2019).

Se tomó la temperatura del material a compostar y el termómetro marca más de 43°C (Imagen 40), se realiza el volteo y se toma nuevamente la temperatura, el termómetro marca nuevamente más de 43°C (Tabla 14).

Se tomó muestra del material en proceso de compost, para medir la humedad, empuñando una parte del material, obteniendo como resultado que el material no presenta exceso de humedad (Imagen 41), así mismos se toma otra muestra para medir el pH del material, dando como resultado un pH básico (Imagen 42).

**Imagen 40.** Medición temperatura día 30.



**Fuente:** El Autor (2019).

**Imagen 41.** Muestra medición humedad día 30



**Fuente:** El Autor (2019).

**Imagen 42.** Muestra medición pH día 30.



**Fuente:** El Autor (2019).

Se realizó el volteo de la hilera de compostaje para airear el material y bajar la temperatura de la hilera, se observa que la hilera ha reducido su volumen, el material está suelto, con un color café oscuro, no se percibe malos olores y no hay presencia de insectos (Imagen 43) a partir de esta fase el material no será tapado con el plástico negro.

**Imagen 43.** Volteo manual hilera compostaje día 30.



**Fuente:** El Autor (2019).

**Tabla 15.** Resultados obtenidos día 30.

<b>Temperatura</b>	Más de 43°C
<b>pH</b>	7 – Básico
<b>Humedad</b>	Sin Exceso de Humedad

**Fuente:** El Autor (2019).

- **Día 33**

Se realizó la toma de temperatura, al observar el termómetro muestra que el material tiene una temperatura de 42,8°C (Imagen 44), la temperatura viene disminuyendo, (Tabla 15), se realizó el volteo manual de la hilera y así airear la hilera, con este volteo se contribuye a disminuir la temperatura, no se perciben malos olores ni hay presencia de insectos (Imagen 45).

Se tomó una muestra del material a compostar para medir la humedad, se realizó de forma manual, se tomó un puñado del material, se apretó y como resultado no presenta exceso de humedad, el material se encuentra seco (Imagen 46), teniendo en cuenta que el material alcanzo un pH básico no se realiza la prueba para tomar del pH, no se perciben malos olores, el material a compostar posee un color café oscuro, se observa que ha disminuido su volumen.



**Imagen 44.** Resultados medición temperatura día 33.



**Fuente:** El Autor (2019).

**Imagen 45.** Volteo manual material compostable día 33.



**Fuente:** El Autor (2019).

**Imagen 46.** Medición humedad día 33.



**Fuente:** El Autor (2019).

**Tabla 16.** Tabla de resultados día 33.

<b>Temperatura</b>	42.8°C
<b>Humedad</b>	Sin Exceso de Humedad

**Fuente:** El Autor (2019).

- **Día 36**

Antes de realizar el volteo de la hilera, se observa que a los alrededores de la hiera del material a compostar hay crecimiento de material vegetal (pasto), (Imagen 47), se tomó la temperatura del material el termómetro marca 42.4°C (Tabla 16), se observa que el material viene reduciendo su temperatura durante la fase de maduración (Imagen 48)

Se tomó una muestra del material a compostar para realizar la prueba de humedad, el material se encuentra seco, no hay presencia de lixiviados, el material no presenta malos olores, posee un color café oscuro, no se toma muestra de pH, teniendo en cuenta que el material a compostar se encuentra seco (Imagen 48).

Se realizó el volteo manual de la hilera de material a compostar, el material se encuentra suelto, no hay presencia de insectos ni de malos olores, el volumen de la hilera se reduce (Imagen 49).

**Imagen 47.** Crecimiento material vegetal día 36.



**Fuente:** El Autor (2019).

**Imagen 48.** Medición temperatura y humedad día 36.



**Fuente:** El Autor (2019).

**Imagen 49.** Volteo manual material a compostar día 36.



**Fuente:** El Autor (2019).

**Tabla 17.** Resultados obtenidos día 36

<b>Temperatura</b>	42.4°C
<b>Humedad</b>	Sin Exceso de Humedad

**Fuente:** El Autor (2019).

- **Día 39**

Se tomó la temperatura de la hilera del material, el termómetro muestra que la temperatura está a 41.5°C (Imagen 50), la temperatura sigue disminuyendo (Tabla 17).

**Imagen 50.** Medición temperatura día 39.



**Fuente:** El Autor (2019).

La humedad del material es menor, el material se encuentra seco (Imagen 51), no se tomó muestra para medir el pH. Se realizó el volteo manual del la hilera de material a compostar, el material presente esta mas suelto, no hay presencia de insectos, no se persiben malos olores, se observa que el material a compostar a reducido su volumen (Imagen 52).

**Imagen 51.** Prueba de humedad día 39.



**Fuente:** El Autor (2019).



**Imagen 52.** Volteo manual material a compostar día 39.



**Fuente:** El Autor (2019).

**Tabla 18.** Resultados obtenidos día 39.

<b>Temperatura</b>	41.5°C
<b>Humedad</b>	Sin Exceso de Humedad

**Fuente:** El Autor (2019).

- **Día 42**

Se verifico la temperatura de la hilera del material a compostar (Imagen 53), el termómetro indica que la temperatura está en 35.9°C (Tabla 18).

**Imagen 53.** Medición temperatura día 42.



**Fuente:** El Autor (2019).

Además se realizó la prueba de humedad del material a compostar, mediante la prueba manual se observa que la muestra no posee humedad (Imagen 54). Se realizó el volteo manual de la hilera, el material se encuentra suelto, presenta un color marrón oscuro, no se perciben malos olores, no se observa presencia de insectos (Imagen 55).

**Imagen 54.** Prueba de humedad día 42.



**Fuente:** El Autor (2019).

**Imagen 55.** Volteo manual hilera día 42.



**Fuente:** El Autor (2019).

**Tabla 19.** Resultados obtenidos día 42.

<b>Temperatura</b>	35.9°C
<b>Humedad</b>	Sin Exceso de Humedad

**Fuente:** El Autor (2019).

- **Día 45**

En el día 45 finalizó el proceso del material a compostar, en compost, se tomó nuevamente la temperatura de la hilera (Imagen 56), el termómetro indica que la hilera alcanza una temperatura de 30.5°C, (Tabla 19). El material compostado se encuentra suelto, no se perciben malos olores, no hay presencia de insectos, posee un color marrón oscuro. Se toma una muestra del material para medir la humedad, el material no presenta humedad (Imagen 57).

**Tabla 20.** Resultados obtenidos día 45.

<b>Temperatura</b>	30.5°C
<b>Humedad</b>	Sin Exceso de Humedad

**Fuente:** El Autor (2019).

**Imagen 56.** Toma Temperatura día 45.



**Fuente:** El Autor (2019).



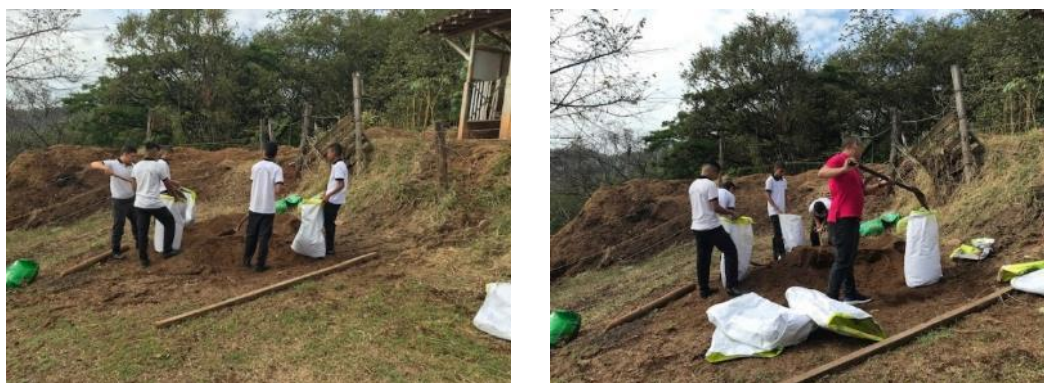
**Imagen 57.** Tomas muestra humedad día 45.



**Fuente:** El Autor (2019).

El compost se encuentra en óptimas condiciones para ser aplicado directamente a los suelos que se quieran mejorar, con la colaboración de los adolescentes del programa Cívica Juvenil Carabineritos se empaco el compost en 20 costales (Imagen 58), los costales son pesados en bascula, para establecer su peso, cada costal alcanza un peso de 21 kilos aproximadamente (Imagen 59), para un total de 420 Kilos de compost recolectado. El compost es almacenado dentro de una de las pesebreras y será donado a los beneficiarios del Programa Presidencial de Restitución de Tierras del sector de la Gloria, vía a Jamundí (Valle).

**Imagen 58.** Empaquetada del compost orgánico.



**Fuente:** El Autor (2019).

**Imagen 59.** Almacenamiento y pesaje compost.



**Fuente:** El Autor (2019).

## 9. RECURSOS NECESARIOS

Para la implementación de las medidas de mitigación para reducir el impacto ambiental generado por contaminantes atmosféricos, se deben tener en cuenta una serie de recursos técnicos, equipos tecnológicos, personal humano, materiales y equipos que son necesarios para lograr cumplir con el objetivo propuesto que es el manejo adecuado y aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos, dentro los recurso necesarios en la siguiente tabla observaran el presupuesto necesario para cumplir con el proyecto.

**Tabla 21.** Recursos necesarios

Recursos	Descripción	Presupuesto Carabineros	Presupuesto UNAD
<b>Equipo Humano</b>	Personal Grupo de Carabineros	0	Asesoría
<b>Equipos y Software</b>	Computador de la Unidad	\$ 1.500.000	N/A
<b>Viajes y salidas de Campo</b>	N/A	N/A	N/A
<b>Materiales y Suministros</b>	01 Recipiente plástico	\$ 40.000	N/A
	04 Palas	\$ 64.000	N/A
	04 Bugís	\$ 320.000	N/A
	01 Termómetro	\$ 12.000	N/A
	5 Metros de Plástico	\$ 17.500	N/A
	03 Bulto de Melaza 30K	\$ 60.000	N/A
	01 Papel pH	\$ 12.500	N/A
<b>Bibliografía</b>			
<b>Total</b>	\$ 2.026.000		N/A



## 10. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Con la implementación de esta alternativa, el Grupo de Carabineros de Cali contribuye en la disminución de la generación de gases de efecto invernadero (GEI), por el almacenamiento de residuos sólidos orgánicos, buscando el cumplimiento de la normatividad vigente para el manejo adecuado de los residuos sólidos.

Así mismo se disminuyó con el volumen de residuos sólidos recolectados (Imagen 60) teniendo en cuenta que al inicio del proceso en la fase mesófila, se recolectaron 840 kg de residuos y al finalizar el proceso en la fase de maduración, después de 45 días, el peso del compost fue de 420 kg.

**Imagen 60.** Disminución volumen material compostado

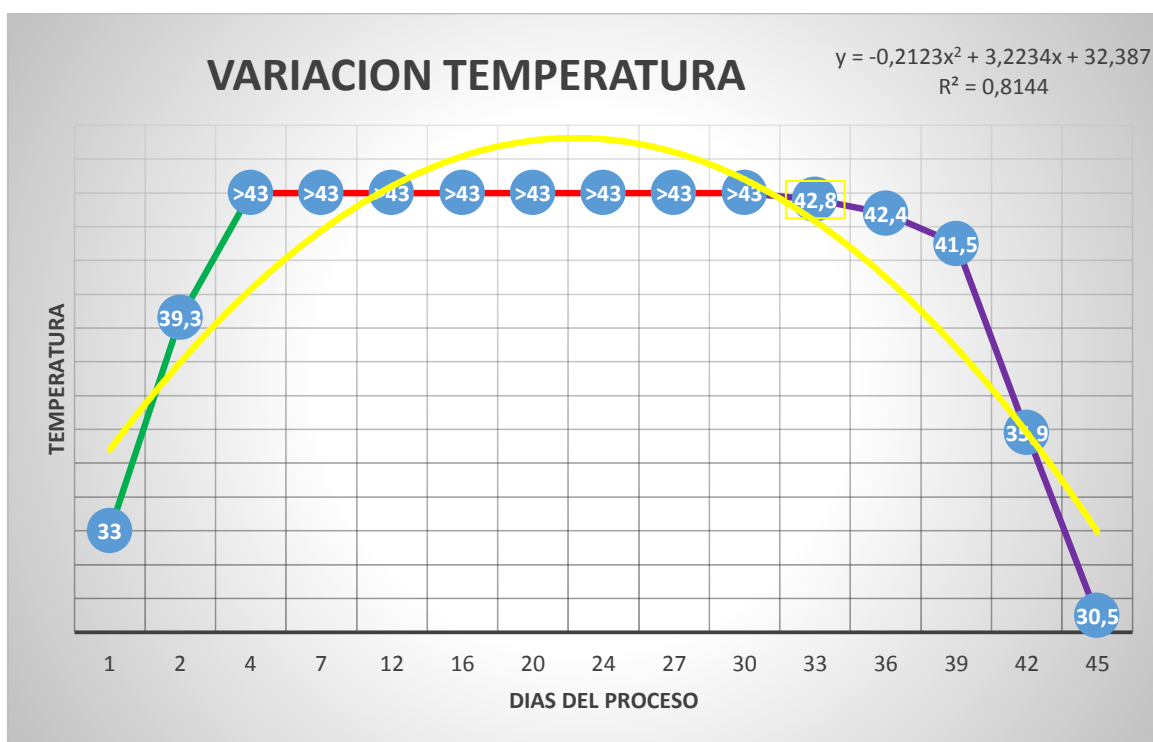


**Fuente:** El Autor (2019).

Durante el desarrollo del proyecto se logró evidenciar el comportamiento de la temperatura dentro de las tres fases de implementación (grafica 1), al inicio del proceso en la fase mesófila la temperatura inicia a temperatura ambiente, durante la fase termófila se evidenció las elevadas temperaturas (entre 33°C y más de 43°C), en las hileras y en la fase de maduración se observa la disminución de la temperatura, hasta llegar nuevamente a la temperatura ambiente. La variación observada en la temperatura durante las tres fases del proceso, se da como resultado de los

procesos biológicos ocurridos, por medio de la acción microbiana sobre la materia biodegradable. El comportamiento de este parámetro indica que el proceso de compostaje se elaboró de forma adecuada, controlada y eficiente, permitiendo la obtención de compost a partir de los residuos orgánicos y provenientes del manejo de los semovientes del Grupo de Carabineros de Cali. Demostrando así, la potencialidad de este tipo de biotratamiento como mecanismo para dar solución a los impactos ambientales asociados.

**Grafica 1.** Variación de la temperatura durante el proceso de compostaje

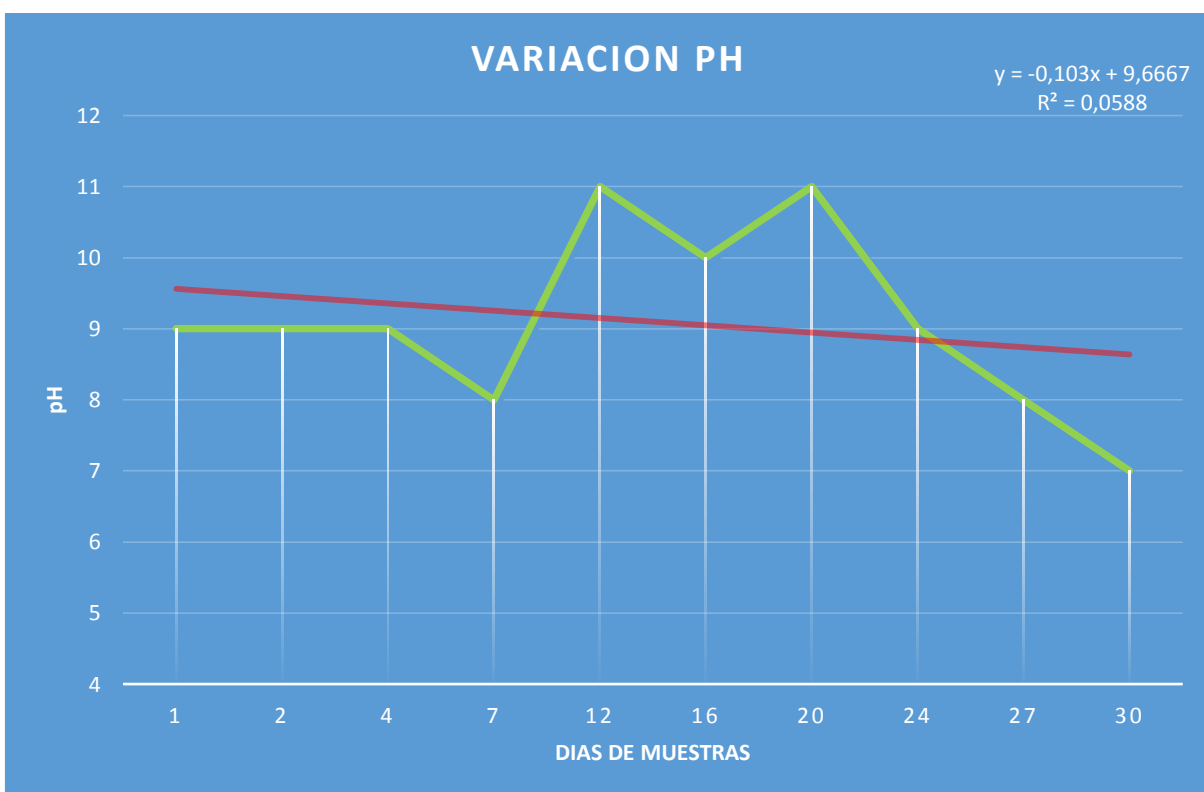


Fuente: El Autor (2019).

Otra factor importante que se tuvo en cuenta durante el desarrollo del proceso de compostaje orgánico, fue el potencial de hidrogeno (pH), el cual se evaluó mediante el test manual, utilizando cinta pH. Fueron tomadas muestras durante las tres fases de implementación, se observa la variabilidad del pH durante todo el proceso (Grafica 2), logrando alcanzar unas óptimas condiciones (neutro), permitiendo el uso del producto como material aportante para

suelos. La variación observada del pH en el proceso de compostaje, se da como resultado del proceso microbiano ocurrido, en donde se establece que en la primera fase los microorganismos producen ácidos orgánicos, permitiendo que el pH se mantenga estable, durante la segunda fase se presenta la pérdida de los ácidos orgánicos, lo que conlleva a la alcalinización del material y durante la tercera fase el pH tiende a ser neutro, esto se debe a la generación de compuestos húmicos.

**Grafica 2.** Variación del pH proceso de compostaje



**Fuente:** El Autor (2019).

Durante el proceso de transformación del material recolectado en el aseo de las pesebreras, se logró evidenciar el cambio en la textura y color del material compostado, durante las tres fases del proceso se presenta una transformación notable (Imagen 61). Como resultado del proceso se pudo observar un compostaje suelto, de una textura uniforme, el cual posee un color marrón

oscuro. Este resultado era esperado como consecuencia de los procesos bioquímicos ocurridos bajo parámetros controlados, y sus características posibilitan considerar el producto como apto para la utilización en los suelos.

**Imagen 61.** Transformación material compostado



**Fuente:** El Autor (2019).

A través del desarrollo del proyecto, se cumple con los objetivos propuestos, que indicaban el aprovechamiento de los residuos generados a partir de las pesebreras, luego de su transformación en compostaje orgánico, se elaboraron, 210 kg del producto final, compost orgánico, los cuales fueron aprovechados en la siembra de 20 árboles nativos (Tulipán y Guayacán), en un sector de la vereda el Mango, el cual hace un tiempo, había sido afectado por una quema indiscriminada.



Es de rescatar que esta actividad se desarrolló con los niños del programa de Carabineritos (Imagen 62).

**Imagen 62.** Siembra de árboles, aprovechamiento compost



**Fuente:** El Autor (2019).

Al obtener resultados tan positivos con la implementación del compostaje, el Grupo de Carabineros de Cali, adecuó un lugar más grande para aumentar la producción de compost (Imagen 63), este será donada a las personas que se encuentran beneficiadas por el programa Presidencial de Restitución de Tierras, programa que en la ciudad de Cali, está ubicado en el corregimiento del Hormiguero, sector la Gloria y es liderado por el Grupo de Carabineros de Cali, en la (Tabla 22) se muestran los resultados obtenidos.

**Imagen 63.** Adecuación nuevo sitio para compostera



**Fuente:** El Autor (2019).

**Tabla 22.** Resultados Obtenidos

<b>RESULTADO/PRODUCTO OBTENIDO</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>BENEFICIARIO</b>
Se redujo la contaminación atmosférica que producían los residuos generados por la tenencia de equinos.	Disminuir la cantidad de materia orgánica y transformarla en compost orgánico	Grupo de Carabineros.  Población en general.
Se disminuyó la cantidad de lixiviados, con la implementación del almacenamiento de los residuos producidos en la limpieza de las pesebreras en hileras y el volteo realizado cada tres días.	Volumen de lixiviados recolectados durante el proceso de compostaje.	Grupo de Carabineros.  Personas vinculadas al Programa de Restitución de Tierras de la Presidencia de la República, que implementan proyectos productivos agrícolas.
Se logró obtener un compostaje orgánico, alto en nutrientes, el cual fue aprovechado en la siembra de 20 árboles nativos.	Se obtuvo después del proceso de compostaje 420 kg de compost orgánico.	Grupo de Carabineros.  Personas vinculadas al Programa de Restitución de Tierras de la Presidencia de la República, que tienen

		proyectos productivos agrícolas.
--	--	-------------------------------------

## 11. CONCLUSIONES

Una vez implementado el proyecto y con la recolección de los datos obtenidos durante los 45 días que duró el proceso de transformación del material recolectado por la limpieza de las pesebreras, se puede concluir que el proyecto es una alternativa eficiente para la disminución en el impacto ambiental producido por el mal manejo de los residuos orgánicos, puesto que con el almacenamiento de los residuos sólidos orgánicos mediante hileras y los volteos realizados frecuentemente al material compostado, conllevan a la no exposición directa de esta clase de gases (dióxido de carbono, dióxido nitroso, metano y el ozono).

Durante el proceso de transformación a compost, el material recolectado sufre un proceso de descomposición, lo que con lleva a que la hilera pierda su volumen en un 50% aproximadamente, también se observa que el material cambio de textura y color, esto indica que con la implementación del proyecto, se cumple con uno de los objetivos específicos, el cual consistía en disminuir la cantidad de material orgánico y el aprovechamiento de estos, consiguiendo un compost orgánico.

Teniendo en cuenta el proceso implementado, se puede confirmar que gracias al proceso de compostaje implementado bajo parámetros controlados, se redujo en un 95% aproximadamente la generación de lixiviados, ya que al realizar el volteo continuo del material a compostar no permite la acumulación de líquidos, no se realizó la recolección y aprovechamiento de los lixiviados, ya que se disminuyó la generación de lixiviados, teniendo en cuenta que al almacenar por medio de hileras los residuos sólidos generados por el aseo de las pesebreras, no generaron lixiviados.



A partir de los resultados obtenidos, el Grupo de Carabineros de Cali, se percatado de la potencialidad del aprovechamiento de los residuos de las pesebreras como materia prima para la producción de compost y reduciendo su impacto ambiental, razón por la cual se ha iniciado un proceso para aplicar el tratamiento a mayor escala.

A partir del tratamiento de los residuos de las pesebreras, fueron donados 210 kg de compost el día 28 de septiembre, en donde con el apoyo de los niños, niñas y adolescentes del programa Carabineritos, se realizó la siembra de 20 árboles nativos, actividad se desarrollada en la vereda el Mango, con lo cual se despierta la conciencia ambiental de estos jóvenes y se percatan de la potencialidad del aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos.

## **12. RECOMENDACIONES**

Para la implementación de este tipo de proyectos, consistentes en el aprovechamiento de material orgánico, es necesario tener en cuenta el lugar en donde se implementará la compostera, de ser posible el sitio adecuado debe tener piso en cemento, esto facilitaría la recolección de líquidos percolados y que estos puedan ser aprovechados como fertilizantes líquidos. Además de ser posible, adecuar las instalaciones para que cuenten con techo, con el fin de proteger el material cuando se presenten lluvias, esto minimiza la generación de lixiviados.

### 13. BIBLIOGRAFIA

- Alarcón Gil, G. (2013) Sistemas de producción equina. Universidad Abierta y a Distancia. Recuperado de: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Equino/Documentos/005%20%20Documentos%20T%C3%A9cnicos/Produccion%20Equina.pdf>
- Agudelo, E. A. (2010). Un método de gestión ambiental adecuado para el tratamiento y la disposición de un residuo peligroso caso: tierra Fuller contaminada con aceite dieléctrico (Disertación Doctoral, Universidad Nacional de Colombia). Recuperado de: Gestión Ambiental., Volumen 15, Número 2, p. 101-116, 2012. ISSN electrónico 2357-5905.
- Apraetz, E. Crespo, G. Herrera, R, S. (2007) Efecto de la aplicación de abonos orgánicos y mineral en el comportamiento de una pradera de kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechs) en el Departamento de Nariño, Colombia. Recuperado de: Revista Cubana de Ciencia Agrícola, vol. 41, núm. 1, 2007, pp. 75-79 Instituto de Ciencia Animal La Habana, Cuba.
- Bravo Duque D. (2001) Caballo Colombiano Ciencia y Arte, Ediciones graficas Ltda., Medellín Colombia. Congreso de la República (2008) Ley 1259 de 2008, Por la cual se instaura en el territorio nacional la aplicación del comparendo ambiental a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros; y se dictan otras disposiciones. Artículo 2 "Breviario de términos".
- Cortes-Sandoval, A., Madera-Parra, C. A., Peña-Varón, M. R., Peña, S. E. J., & Lens, J. P. N. (2013). Eliminación de DQO, Nitrógeno (TKN, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub>) y Cr (VI) en humedales construidos con policultivos tratando lixiviados de rellenos sanitarios a escala piloto. Seminario Internacional GRAL

- Crespo, G. Rodríguez, I. Lok, S. 2015. Contribución al estudio de la fertilidad del suelo y su relación con la producción de pastos y forrajes. Recuperado de: Revista cubana de ciencia agrícola, tomo 49, numero 2
- Domingo, M, N. Picone, L. Videla, C, C. Maceira, N. (2013) Volatilización de amoníaco y emisiones de dióxido de carbono a partir de un sistema intensivo de producción de carne. Ciencia del suelo, 31(1), 107-118. Recuperado de: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1850-20672013000100010&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672013000100010&lng=es&tlng=es).
- Ferrys, G. Livestock and Land (s.f) Abonado de estiércol de caballo. Ecology Action. Recuperado de: [https://livestockandland.org/Spanish\\_PDF/01\\_Manure\\_and\\_Composting/04%20Abonado%20de%20Estiercol%20de.pdf](https://livestockandland.org/Spanish_PDF/01_Manure_and_Composting/04%20Abonado%20de%20Estiercol%20de.pdf)
- Fuentes, L., Serrano, A. (2006). Valoración Económica de los Impactos Socioeconómicos y Ambientales Ocasionados por el Manejo de los Residuos Sólidos Urbanos en el Relleno Sanitario “La Esmeralda” del Municipio de Barrancabermeja: Aplicación del método Multicriterio. (Bachelor's thesis, Universidad Industrial de Santander).
- Fuentes, L. A. (2010). Evaluación del sistema alternativo de evaporación forzada de lixiviados para el relleno sanitario " Don Juanito " de Villavicencio, Meta. (Bachelor's thesis, Universidad De la Salle). Recuperado de: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14840/T41.06%20F952e.pdf;jsessionid=06F82E5C0868AFF83877F63CD5E22FC9?sequence=1>

- Galvis, C, M, P. 2014. Estado del arte biorreactores de membranas. Escuela colombiana de ingeniería. Recuperado de: <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/123/1/DOCUMENTO%20BIOREACTOR%20MEMBRANA%20%20FINAL%20%281%29.pdf>
- García, L. A. G., Armesto, D. F. T., & Correa, D. A. (2015). Métodos de separación por pervaporación: una revisión. *ReCiTeIA*, 15 (1), 66-78
- Giraldo, E. (2003). Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: Avances Recientes. Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, 44-55
- ICONTEC. Guía técnica colombiana (GTC86). Guía para la implementación de la gestión integral de residuos. Bogotá D.C., Colombia. 22 de octubre de 2003. Ed. 2003-11-11. I.C.S.: 13.030.50., p. 8.
- Martínez, A.G. (2014). Alternativas actuales del manejo de lixiviados, Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, Venezuela.
- Noeggerath, I., & Salinas, M. (2011). Análisis comparativo de tecnologías para el tratamiento de lixiviados en rellenos sanitarios. (Bachelor's thesis, Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas, Veracruz).
- Novelo, R. M., Borges, E. C., Riancho, M. R. S., Franco, C. Q., Vallejos, G. G., & Mejía, B. J. (2004). Tratamiento fisicoquímico de los lixiviados de un relleno sanitario. *Ingeniería*, 8(2), 155-163.
- Novelo, R., Sandoval, E. C., Riancho, M. R. S., & Castillo, E. R. (2002). Influencia del material de cubierta en la composición de los lixiviados de un relleno sanitario. *Ingeniería*, 6(2), 7-12.

Organización Panamericana de Salud (s.f) Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimiento. Uruguay. 69p.

Patiño, A. C. V. (2007). Gestión ambiental y tratamiento de residuos urbanos (manuscrito): propuesta para la zona metropolitana de Guadalajara a partir de las experiencias de la Unión Europea. (Doctoral dissertation, Universidad Complutense de Madrid, España).

Rivas, I. M. Z. Impacto en la salud de los pobladores de los barrios los ángeles y nueva Jerusalén, provocado por el manejo y disposición final de los desechos sólidos, BILWÍ, Puerto Cabezas, Raan. I semestre, del 2009.

Romero Batallán, C. A. (2010). Aprovechamiento integral de lixiviados. Recuperado de: <http://www.conama10.conama.org/conama10/download/files/CT%202010/861256.pdf>

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Disposición final de residuos sólidos. Informe Nacional. Bogotá D.C., Colombia. Diciembre de 2015. Ed. 7., p. 32.

Tortosa, G. Caracterización agroquímica del estiércol de caballo. Recuperado de:

<http://www.compostando ciencia.com/2015/02/materiales-para-compostar-estiercol-de-caballo/>

## 14. GLOSARIO

**ABONO O FERTILIZANTE ORGÁNICO:** Son productos sólido, obtenidos a partir de un proceso de estabilización, los cuales fueron separados en la fuente.

**ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS:** Es la tarea que realizan los usuarios, que trata de almacenar transitoriamente los residuos sólidos en lugares acordes para este fin, recipientes o cajones de almacenamiento, retornables o desechables, en espera de la recolección que realizan las empresas prestadoras del servicio de recolección. (Decreto 2981 de 2013 del Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible y Ministerio de vivienda, ciudad y territorio).

**APROVECHAMIENTO:** Es el manejo de los residuos, que mediante acciones como la separación en la fuente, su recuperación, la transformación y la reutilización de estos, son reincorporados para ser aprovechados económicamente y que a su vez minimicen los impactos ambientales y los riesgos a la salud humana (Decreto 2676 de 2000).

**APROVECHAMIENTO EN EL MARCO DE LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS:** Es el proceso por el cual, mediante un plan integral de los residuos sólidos, son recuperados e incorporados al ciclo productivo en forma eficiente y adquieren un valor económico empleando la reutilización, el reciclaje, la combustión para la producción de energía, el compostaje u otra alternativa que beneficie el medio ambiente. (Decreto 1505 de 2003 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial).

**BIOMASA:** Es el material vegetal o animal que es considerado como fuente de energía.

**COMPOSTAJE:** Se define como el proceso biológico, controlado, en donde por acción de los microorganismos se degrada la materia orgánica y el material a compostar alcanza una estabilización para su aprovechamiento.

**DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS:** Es el proceso en el cual se recolecta y confinan los residuos sólidos que no pueden ser aprovechados, en los lugares diseñados para la recolección de estos, los cuales deben regirse a las normas vigentes, para prevenir los daños o afectaciones a la salud humana y al medio ambiente. (Decreto 838 de 2005 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial)

**GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS:** Es el conjunto de acciones enfocadas a disminuir la generación de residuos, los cuales pueden ser aprovechados, teniendo en cuenta las características, el volumen, su origen y el valor durante el tratamiento, con el fin de ser aprovechados y comercializados. Los residuos sobrantes deberán tener una disposición final al no ser incorporados al ciclo productivo. (Decreto 2981 de 2013 del Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible y Ministerio de vivienda, ciudad y territorio)

**HUMUS:** Conocido como la etapa final en la descomposición de la materia orgánica sólida, realizada gracias a la gestión de los microorganismos, cuya constitución depende del sustrato y grado de putrefacción.

**RECICLAJE:** Es el proceso en donde son aprovechados y transformados los residuos sólidos separados, los cuales son reincorporados a modo de materia prima, para la elaboración de diferentes productos. El reciclaje posee diferentes fases: procesos de tecnologías limpias, reconversión industrial, separación, recolecta selectiva, el almacenamiento, la reutilización, transformación y comercialización. (Decreto 1713 de 2002 Ministerio de Medio Ambiente).

**RESIDUO SOLIDO APROVECHABLE:** Son todos aquellos materiales, objetos, sustancias o elementos sólidos, que no alcanzan un valor económico para quien lo genera, pero que este puede



ser aprovechado y reincorporación mediante un proceso productivo. (Decreto 2981 de 2013 del Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible y Ministerio de vivienda, ciudad y territorio).

**RESIDUOS DE ALIMENTOS O SIMILARES:** Son materia prima, como sólidos y semisólidos, su origen es de tipo animal o vegetal, que son abandonados y pueden sufrir el proceso de biodegradación.

**RESIDUO O DESECHO SÓLIDO:** Son todo tipo de objeto, materiales, sustancia o elemento sólidos, que resultan del gasto o uso de un bien en acciones domésticas, industriales, comerciales, institucionales y de servicios, en donde quien lo genera lo deja abandona o en ocasiones lo entrega, para que sea aprovechamiento o transformado en un bien nuevo, el cual alcanzar un valor o es enviado a su disposición final. Los residuos están catalogados como aprovechables y no aprovechables.

**TRATAMIENTO:** Es el conjunto de procedimientos, procesos o metodologías con los cuales se pueden cambian las características de los residuos sólidos, acrecentando sus posibilidades de reutilización, aprovechamiento o tolerar los dos procesos, para disminuir los impactos ambientales y los riesgos hacia la salud de las personas (Adaptado del Decreto 1713 de 2002 Ministerio de Medio Ambiente).

**VALORIZACIÓN:** Es el mecanismo por el cual se le da una cuantía financiera añadida al producto final, teniendo en cuenta la técnica de aprovechamiento que se hará en él y a la ocupación que se le dará en el nuevo ciclo productivo.

**VIDA ÚTIL:** Tiempo durante el cual el producto cumple apropiadamente con las objetivo para el cual fue diseñado.